

ICS号  
中国标准文献分类号

# 团 体 标 准

团体标准编号  
代替的团体标准编号

## 钢制承压设备焊接接头 3D全聚焦相控阵超声检测

**3D Total focusing method phased array ultrasonic testing of welded  
joints of steel pressure equipment**

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

XXXXXXXXXXXXXXXXXX发布

# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 一般要求 .....	3
5 承压设备焊接接头3D全聚焦相控阵超声检测方法（I型） .....	12
6 承压设备管子和压力管道环向对接接头3D全聚焦相控阵超声检测（II型） .....	24
7 承压设备3D全聚焦相控阵超声检测质量分级 .....	26
8 检测记录和报告 .....	29
附录A（规范性附录）3D全聚焦相控阵超声检测仪器和探头性能指标要求 .....	30
附录B（资料性附录）奥氏体不锈钢对接接头3D全聚焦相控阵检测方法和质量分级 .....	33

# 前 言

3D全聚焦相控阵超声检测技术基于全矩阵数据采集(FMC)、全聚焦成像(TFM)的超声检测技术,同常规相控阵PAUT相比因其具有图像分辨率高、信噪比高、缺陷检出率高、有效声场覆盖范围大、检测效率高、无栅瓣影响等特点,在我国承压设备行业无损检测中开始使用,并且有了越来越广泛的应用需求。

本团体标准根据目前3D全聚焦相控阵超声检测仪器的声场特性和成像特点,根据NB/T 47013.15《承压设备无损检测 第15部分:相控阵超声检测》对全聚焦检测的要求,对检测工艺进行了细化并规定具体要求。

本团体标准根据“场校准”的特点规定了对比试块的具体结构。

本团体标准按GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分:标准化文件的结构和起草规则》进行编写。

本团体标准起草单位:甘肃君立工程科技有限公司、浙江省特种设备科学研究院、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、甘肃省特种设备检验检测研究院、广东省特种设备检测研究院、河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院、福建省特种设备检验研究院、中国特种设备安全与节能促进会、江苏中特创业设备检测有限公司、甘肃省特种设备安全技术检查中心、北京市朝阳区特种设备检测所、北京市特种设备检测中心、北京市核建恒信检测技术有限公司、嘉兴市特种设备检验检测院、中国石化天津分公司装备研究院、北京市丰台区特种设备检测所、沈阳特种设备检测研究院、南京南化检验检测技术有限公司、广东珺相科技有限公司、浙江优尔特检测科技有有限公司。

本团体标准主要起草人:汪同和、郭伟灿、谭云华、李沧、李绪丰、娄旭耀、张志超、杨志伟、强天鹏、张生文、程红伟、李宏雷、严宇、陈伟、王强、陈玉平、孙大超、徐海超、陈兴发、柳章龙。

# 钢制承压设备焊接接头3D全聚焦相控阵超声检测

## 1 范围

1.1 本标准规定了承压设备焊接接头采用3D全聚焦相控阵超声检测的方法和质量分级要求，按本标准进行的3D全聚焦相控阵超声检测为可记录的脉冲反射法超声检测。

1.2 本标准适用于在制和在用承压设备3.2mm~300mm碳钢、低合金钢材料全熔化焊焊接接头，其他各向同性的细晶材料也可参照本标准执行；10mm~150mm奥氏体不锈钢等粗晶材料承压设备对接接头的3D全聚焦相控阵超声检测可参照附录B执行。

1.3 与承压设备有关的支撑件和结构件焊接接头的3D全聚焦相控阵超声检测可参照本标准执行，但应考虑材料声学特性和几何结构的变化。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12604.1《无损检测 术语 超声检测》

GB/T 29302《无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验》

JB/T 8428《无损检测 超声试块通用规范》

JB/T 11731《无损检测 超声相控阵探头通用技术条件》

JB/T 11779《无损检测仪器 相控阵超声检测仪技术条件》

JJF 1338《相控阵超声探伤仪校准规范》

NB/T 47013.1《承压设备无损检测 第1部分：通用要求》

NB/T 47013.3《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》

NB/T 47013.15《承压设备无损检测 第15部分：相控阵超声检测》

## 3 术语和定义

GB/T 12604.1、NB/T 47013.1、NB/T 47013.3、NB/T 47013.15界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1 3D全聚焦相控阵超声检测 Phased array ultrasonic testing by 3D TFM

根据设定的延迟法则激发阵列探头的每个晶片（阵元），通过全矩阵数据采集，将采集得到的数据对整个栅格化的感兴趣区域进行3D全聚焦计算，并以3D图像的方式显示被检对象内部状态（缺陷）的超声检测技术。

### 3.2 全矩阵采集 full matrix capture (FMC)

依次激发超声阵列探头的每个阵元，所有阵元同时接收，遍历激发所有阵元之后，将全部的采集数据储存起来。

### 3.3 全聚焦 total focusing method (TFM)

将全矩阵采集获得的数据根据延迟法则对栅格化的感兴趣区域内的每一个栅格进行聚焦计算。

### 3.4 全聚焦 3D 型显示 (TFM 3D-display)

对设定的三维 ( $X \times Y \times Z$ ) 成像区域采用全聚焦计算并显示, 图像中的 X 坐标表示区域宽度 (多个区域宽度合成即为扫查焊缝长度), Y 坐标表示区域长度、Z 坐标表示区域深度至区域高度的范围, 如图 1 所示; 焊缝连续记录检测时, 全聚焦 3D 型显示表示整条焊缝三维连续图谱的信息, 可旋转观察。

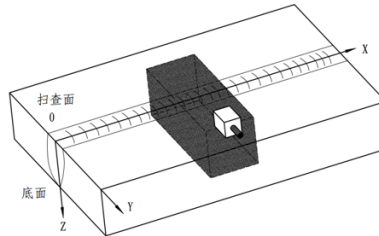


图 1 焊缝检测全聚焦 3D 型显示

### 3.5 B 型显示 B-display

工件端面投影图显示, 即主视图, 图像中横坐标表示区域长度, 纵坐标表示区域深度至区域高度, B 型显示表示检测区域在 Y-O-Z 平面的投影, 如图 1 所示。

### 3.6 C 型显示 C-display

工件平面投影图显示, 即俯视图, 图像中横坐标表示扫查焊缝长度 (多个区域宽度合成), 纵坐标表示区域长度。焊缝检测时, C 型显示表示检测区域在 X-O-Y 平面的投影, 如图 1 所示。

### 3.7 D 型显示 D-display

工件侧面投影图显示, 即侧视图, 图像中横坐标表示扫查焊缝长度 (多个区域宽度合成), 纵坐标表示区域深度至区域高度。焊缝检测时, D 型显示表示检测区域在 X-O-Z 平面的投影, 如图 1 所示。

### 3.8 全聚焦延迟法则 TFM delay law

探头阵元发射和接收以及对应每个阵元的发射电路和接收电路时序和时间间隔的控制规则, 一般包含阵元发射延迟法则、全矩阵采集延迟法则、全聚焦成像延迟法则等。

### 3.9 探头激发孔径 active aperture

探头完成一次全矩阵数据采集 (形成一幅全聚焦图像), 全部激发阵元的有效长度和宽度。对于线阵探头, 如图 2 所示其探头激发孔径长度为  $A=ne+g(n-1)$ , 激发孔径宽度为 B, 公式中 n 为探头激发孔径长度方向阵元数量; 对于面阵探头, 如图 3 所示其探头激发孔径长度为  $A=n_1e_1+g_1(n_1-1)$ , 激发孔径宽度为  $B=n_2e_2+g_2(n_2-1)$ , 公式中  $n_1$  为激发探头长度方向阵元数量,  $n_2$  为激发探头宽度方向阵元数量。

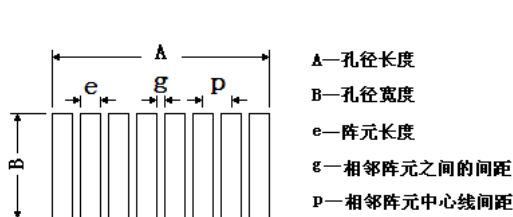


图 2 线阵探头孔径

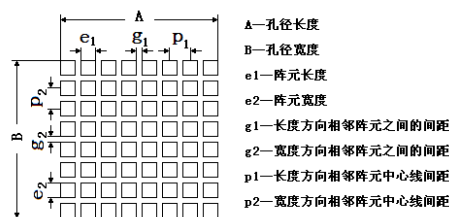


图 3 面阵探头孔径

### 3.10 场校准

使成像区域内不同深度位置、不同水平位置，相同尺寸的反射体回波达到相同幅值（相当于TCG和ACG同时校准）。

### 3.11 像素尺寸

显示器中图谱或图像像素点之间的距离。

### 3.12 横向垂直扫查

探头沿焊缝宽度方向移动，声束方向垂直于探头移动方向的扫查方式，如图4所示。

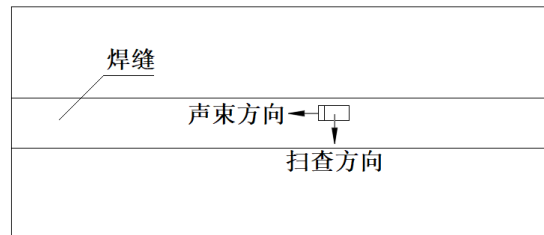


图4 横向垂直扫查

## 4 一般要求

### 4.1 检测人员

4.1.1 从事3D全聚焦相控阵超声检测人员应按照国家特种设备无损检测人员考核的相关规定取得相控阵检测人员资格证书；并通过3D全聚焦相控阵检测技术的专门培训，熟悉3D全聚焦相控阵超声检测设备的使用、调试和结果评定。

4.1.2 从事3D全聚焦相控阵超声检测人员应具有一定的金属材料、设备制造安装、焊接及热处理等方面的基本知识，应熟悉被检件工件的材质、几何尺寸及透声性等，对检测中出现的问题能做出分析、判断和处理。

### 4.2 设备和器材

#### 4.2.1 3D全聚焦相控阵超声检测仪器

4.2.1.1 应符合其相应产品标准的规定，具有产品质量合格证或制造厂出具的合格文件，其性能应满足附录A的要求。

4.2.1.2 至少应具有超声波发射、接收、放大、全矩阵数据采集、全聚焦计算、连续记录原始图谱、实时3D显示等功能。

4.2.1.3 应为计算机控制的至少含有32个独立并行通道的脉冲反射型仪器，采样频率不应小于选用探头中心频率的6倍，幅度模数转换位数应不小于10位。

4.2.1.4 对连续记录图谱应有在线和离线分析功能，分析软件应具备A型显示、B型显示、D型显示或C型显示及3D显示，对图谱增益值有调节功能，随着增益的提高原来不能显示的小缺陷应能够显示出来，分析软件应具有查看检测时参数设置、检测时间的功能。

4.2.1.5 仪器应具有场校准功能。

#### 4.2.2 3D全聚焦相控阵超声探头

4.2.2.1 应符合JB/T 11731产品标准的规定，具有制造厂出具的探头数据表，其性能应满足附录A的要求。

4.2.2.2 探头分为线阵探头、面阵（矩阵）探头、双晶线阵探头、双晶面阵探头，中心频率范围一般为1.0MHz~10MHz。

4.2.3 仪器和探头的组合性能

4.2.3.1 仪器和探头的组合性能包括垂直线性（显示幅度线性）、水平线性、衰减器精度、组合频率、成像横向分辨力和纵向分辨力、成像横向和纵向几何尺寸测量误差。

4.2.3.2 组合性能的要求

a) 水平线性偏差不大于1%，垂直线性偏差不大于5%；

b) 衰减器精度，任意连续20dB衰减器累计误差不大于1dB，任意连续60dB衰减器累计误差不大于2dB；

c) 仪器和探头的组合频率与探头标称频率之间偏差不得大于±10%；

d) 采用5MHz相控阵探头，成像横向分辨力和纵向分辨力均不大于2mm；

e) 采用5MHz相控阵探头，成像横向和纵向几何尺寸测量误差不大于±5%。

4.2.3.3 以下情况时应测定仪器和探头的组合性能

a) 新购置的仪器和（或）探头

b) 仪器和探头在维修或更换主要部件后

c) 检测人员有怀疑时

4.2.4 楔块

4.2.4.1 楔块应使用各项同性的低衰减材料精加工制作，应有出厂合格证。

4.2.4.2 楔块的各项参数出厂时应在楔块参数表中表明，对已有磨损的楔块使用单位对楔块的入射角、中心阵元高度和前沿长度应有准确测量的方法。

4.2.4.3 楔块根据入射角度和折射角度不同可分为横波斜入射楔块、纵波斜入射楔块、纵波直入射楔块，楔块的高度应避免界面波的影响。

4.2.5 扫查装置

4.2.5.1 扫查装置一般包括探头夹持部分、驱动部分、导向部分及位置传感器。

4.2.5.2 探头夹持部分应能调整和设置探头位置，在扫查时保持探头位置和相对角度不变。

4.2.5.3 导向部分应能在扫查时使探头运动轨迹与参考线保持一致。

4.2.5.4 驱动部分可以采用马达或人工驱动。

4.2.5.5 扫查装置中的位置传感器精度应符合本标准的工艺要求。

4.2.6 试块

4.2.6.1 试块分为标准试块、对比试块和模拟试块，均应有制造厂的合格证。

4.2.6.2 标准试块

4.2.6.2.1 标准试块是指具有规定的化学成分、表面粗糙度、热处理及几何形状的材料块，用以评定和校准3D全聚焦相控阵超声检测系统的水平线性、垂直线性、分辨力、几何尺寸误差和定位误差，

即用于仪器探头系统性能校准的试块，试块的制造应满足JB/T 8428的要求。

4.2.6.2.2 本部分采用的标准试块为A型相控阵试块（图5）和B型相控阵试块（图6）

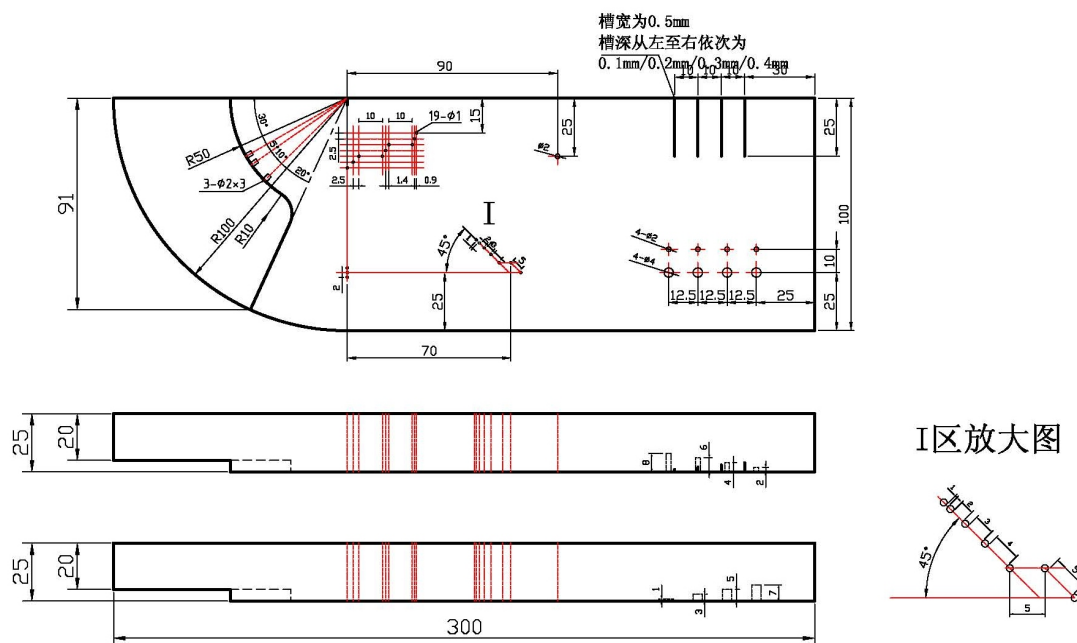


图5 A型相控阵试块

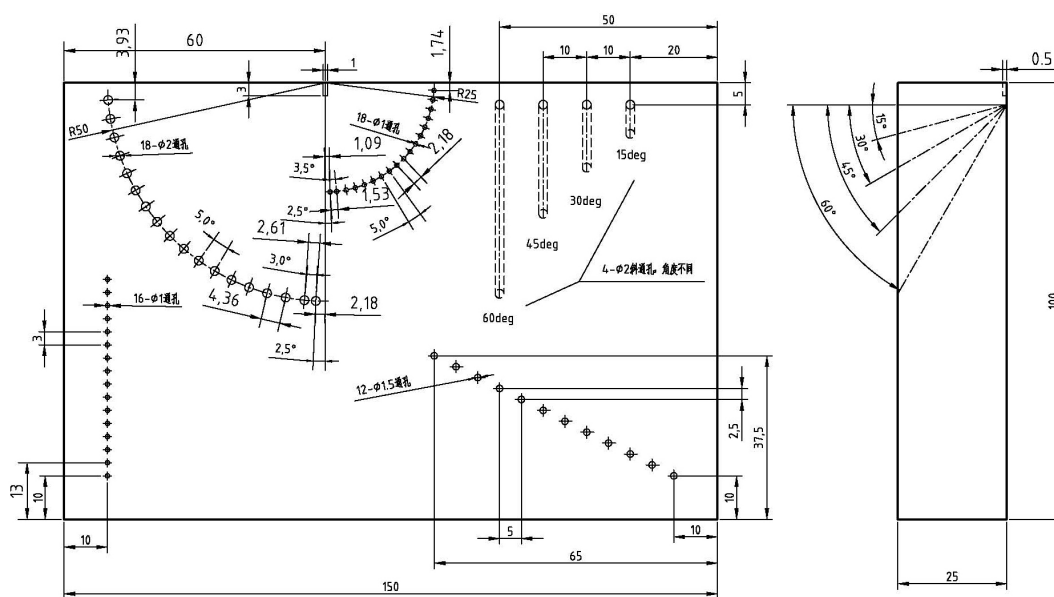


图6 B型相控阵试块

4.2.6.3 对比试块

4.2.6.3.1 对比试块是指与被检工件化学成分、声学性能相同或相似，含有意义明确的参考反射体用以检测校准的试块；其外形尺寸应能代表被检件的特征，试块厚度应与被检件的厚度相对应，如果涉及不同工件厚度对接接头的检测，试块厚度的选择应由较大工件的厚度确定；试块的制造应满足JB/T 8428的要求。

4.2.6.3.2 不锈钢等粗晶材料专用对比试块宜使用现场同规格焊接试件制作。

4.2.6.3.3 扫查面盲区高度测定试块



4.2.6.3.3.1 扫查面盲区高度测定试块用于测定一次波检测初始扫查面盲区高度。

4.2.6.3.3.2 扫查面盲区高度测定试块见图 7，也可使用TOFD扫查面盲区高度测定试块。

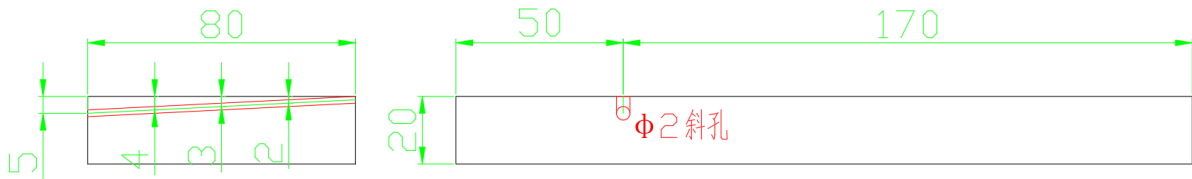


图7 扫查面盲区高度测定试块

#### 4.2.6.4 模拟试块

4.2.6.4.1 模拟试块是指含有模拟缺陷的试块，用于焊接接头3D全聚焦相控阵超声检测技术等级为C级时的检测工艺验证，小径管、角接接头、T型接头和复杂结构焊接接头的检测工艺验证。

4.2.6.4.2 模拟试块的材质和结构形式应与被检件相同或相似；一般采用焊接方法制作，缺陷类型主要为裂纹、坡口未熔合、未焊透和条状缺陷等焊缝中的典型焊接缺陷，其中应有一处横向缺陷；试块中的缺陷位置应具有代表性，至少应包含外表面、内表面和内部等不同深度，对于复杂结构还应包含不同的坡口位置，若一块模拟试块中未完全包含上述缺陷，可由多块同范围的模拟试块组成；试块中的缺陷长度和自身高度满足本标准 I 级（接近 II 级）的规定，但缺陷长度的最小值为10mm。

#### 4.2.7 耦合剂

4.2.7.1 应采用透声性较好且不损伤被检件表面的耦合剂，如机油、化学浆糊、甘油和水等。

4.2.7.2 选用的耦合剂应在工艺规程规定的温度范围内保证稳定可靠的检测。

#### 4.2.8 3D全聚焦相控阵超声仪器和探头校准、核查、运行核查和检查的要求

校准、核查、运行核查和检查应在标准试块和对比试块上进行。

##### 4.2.8.1 校准或核查

每年至少对仪器和探头组合性能中的水平线性、垂直线性、衰减器精度、组合频率、成像横向分辨力和纵向分辨力（倾斜入射和垂直入射）、成像横向和纵向几何尺寸测量误差等进行一次校准或核查并记录，测试要求应满足4.2.3的规定。

##### 4.2.8.2 运行核查

每隔6个月至少对仪器和探头组合性能中的水平线性、垂直线性进行一次运行核查并记录，测试要求应满足4.2.3的规定，当运行核查与校准或核查时间重复时可合并进行。

##### 4.2.8.3 检查

4.2.8.3.1 每次检测前应检查仪器设备器材外观、线缆连接和开机信号显示等情况是否正常。

4.2.8.3.2 每次检测前连接探头开机后，应在一次纵波或3D纵波校准界面检查探头各阵元是否完好，发现失效阵元应重新连接；失效阵元数量不得超过探头阵元总数的1/4，且不得出现相邻阵元连续失效。

4.2.8.3.3 每次检测前应对位置传感器进行检查，检查方式是使带位置传感器的扫查装置至少移动500mm，将检测设备所显示的位移和实际位移进行比较，其误差应小于1%。

4.2.8.3.4 每次检测前工艺参数设置完成后，使用横孔试块测定横孔的深度位置和水平位置，均不超过1个像素尺寸或±0.5mm（取大值）。

### 4.3 检测工艺文件

4.3.1 检测工艺文件包括工艺规程和操作指导书。

4.3.2 工艺规程应符合以下要求

4.3.2.1 工艺规程至少应包含以下内容

a) 工艺规程版本号；b) 适用范围；c) 依据的标准、法规或其他技术文件；d) 检测人员资格要求；e) 检测设备和器材，以及检定、校准或核查的要求及运行核查的项目、周期和性能指标；f) 工艺规程涉及的相关因素项目及其范围；g) 不同检测对象的检测技术和检测工艺选择，以及对操作指导书的要求；h) 检测实施要求：检测时机、检测前的表面准备要求、检测标记、检测后处理要求等；i) 检测结果的评定和质量分级；j) 检测记录的要求；k) 检测报告的要求；l) 编制者（级别）、审核者（级别）和批准者；m) 编制日期。

4.3.2.2 工艺规程还应规定表1和相关章节所列相关因素的具体要求；相关因素的变化超出规定范围时，应重新编制或修订工艺规程。

表1 3D全聚焦相控阵超声检测工艺规程涉及的相关因素

序号	相关因素内容
1	被检焊缝类型和几何形状，包括工件规格和材质、厚度、尺寸、坡口形式
2	检测面，包括检测面的形状和相对于焊缝的位置形式
3	检测方式，包括纵波直入射、纵波斜入射、横波斜入射
4	检测仪器类型
5	探头类型及参数，包括探头维数、阵元形状、阵元长度或宽度、阵元数量、孔径尺寸
6	楔块类型及参数，参数包括角度、高度、前沿、尺寸
7	校准试块、校准方法、耦合剂类型
8	扫描类型、扫查方式、扫查范围
9	缺陷定量方法、评定方法、质量分级、验收级别、检测数据的分析和解释
10	人员资格、检测记录、检测报告要求

4.3.3 操作指导书应符合以下要求

4.3.3.1 操作指导书应根据工艺规程的内容以及被检工件的检测要求编制，至少应包含以下内容：

a) 操作指导书编号；b) 依据的工艺规程及其版本号；c) 检测技术要求：执行标准、检测时机、检测比例、合格级别和检测前的表面准备；d) 检测对象：承压设备类别，检测对象的名称、编号、规格尺寸、材质和热处理状态、检测部位（包括检测范围）；e) 检测设备和器材：名称和规格型号，工作性能检查的项目、时机和性能指标；f) 检测工艺参数；g) 检测程序；h) 检测示意图；i) 数据记录的规定；j) 编制者（级别）和审核者（级别）；k) 编制日期。

4.3.3.2 操作指导书根据具体工件还应包括

- a) 检测技术要求：检测技术等级、检测时机、检测比例、合格级别、扫描方式、扫查灵敏度、接触方式、所使用的波型和检测前的表面准备。
- b) 检测设备器材：检测仪器、探头、楔块、耦合剂、试块、扫查装置的名称规格和型号，仪器和探头检查的项目、时机和性能指标等。
- c) 检测工艺相关技术参数：扫查范围及覆盖区域、扫查方式及方向、仪器探头及楔块的设置参数、扫查面准备及探头位置、检测系统设置及场校准校准、场校准曲线及检测灵敏度的确定、横向缺陷的检测方法等。

4.3.3.3 操作指导书在首次使用前应进行工艺验证，工艺验证应在对比试块或模拟试块上进行；工艺验证的检测结果要求如下：

- a) 能够清晰显示试块中所有参考反射体或缺陷；
- b) 参考反射体或缺陷的尺寸误差应在允许的范围之内。

#### 4.4 检测实施工艺要求

##### 4.4.1 检测准备

4.4.1.1 在承压设备的制造、安装及检修检验时，3D全聚焦相控阵超声检测时机和检测比例及验收级别的选择应符合相关法规、标准及有关技术文件的规定。

4.4.1.2 所确定的检测面应保证工件被检部分能得到充分检测，还应综合考虑工件的结构、焊接方法及工艺、可能产生缺陷的性质及部位和方向、使用的技术等级。

4.4.1.3 焊缝的表面质量应经外观检查合格。

##### 4.4.2 检测方式

4.4.2.1 焊缝的检测方式有横波斜入射检测、纵波斜入射检测、纵波直入射检测；

4.4.2.2 一般使用横波斜入射检测，检测技术等级为C级时应增加纵波直入射检测，检测接管角接头、T型接头等结构焊缝时可能用到纵波直入射检测，检测不锈钢等粗晶材料时使用纵波斜入射。

##### 4.4.3 扫查方式

4.4.3.1 根据检测对象的结构形式和可能产生缺陷性质及走向选择扫查方式，扫查方式分为纵向垂直扫查、纵向倾斜扫查、横向垂直扫查、串列扫查和手动锯齿形扫查，一般应采用纵向垂直扫查检测纵向缺陷，纵向倾斜扫查、横向垂直扫查、串列扫查用于横向缺陷检测，手动锯齿形扫查用于局部检测或快速检测特定缺陷及无法按规定工艺检测时的补充检测。

4.4.3.2 纵向垂直扫查、纵向倾斜扫查和横向垂直扫查应连接位置传感器连续记录图谱；手动锯齿形扫查一般不用位置传感器，发现缺陷时应记录缺陷图片，超标缺陷应连接位置传感器连续记录缺陷图谱。串列扫查检测横向缺陷时，若有效声场能够覆盖整个检测区宽度应连续记录图谱，若不能覆盖可以采用手动锯齿形扫查。

##### 4.4.4 检测区域的确定

4.4.4.1 检测区域由其高度和宽度表征；对接接头检测高度为工件壁厚加上焊缝余高；检测区域宽

度为焊缝本身加上焊缝两侧各5mm的母材，见图8。

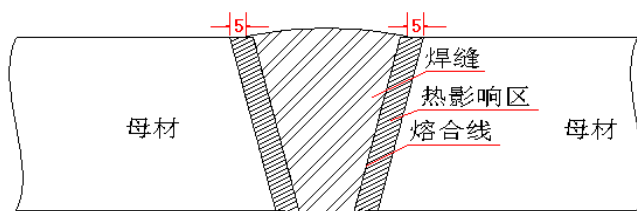


图8 检测区示意图

4.4.4.2 若对于已发现缺陷部位进行复检或已确定的重点部位，检测区域可缩小至相应部位。

#### 4.4.5 成像像素尺寸的要求

成像区域是由区域宽度、区域长度和区域高度确定的三维立体区域，该区域体积越小像素尺寸越小，分辨力越高，成像区域的像素尺寸应符合表2的规定。

表2 成像区域允许的最大像素尺寸 单位：mm

工件厚度	3.2~8	8~15	15~40	40~60	60~100	100~200	200~300
最大像素尺寸	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

#### 4.4.6 图像显示

4.4.6.1 扫查数据按声程以图像形式显示，3D斜入射（横波、纵波）图谱应同时有A型显示、B型显示、D型显示和3D显示；3D纵波直入射图谱应同时有A型显示、B型显示、C型显示、D型显示和3D显示，或C型显示和D型显示可以相互切换显示。

4.4.6.2 在连续扫查数据的图谱中应有三维位置信息。

#### 4.4.7 成像区域和位置的设定原则

4.4.7.1 有效声场范围应覆盖成像区域；成像区域（或多个成像区域）应覆盖检测区域，成像区域宽度应小于等于探头孔径宽度的一半，对于线阵探头不宜大于5mm；区域长度（或多个区域长度）应覆盖检测区域宽度；区域高度应和检测区域高度及波次相对应，如图9所示。

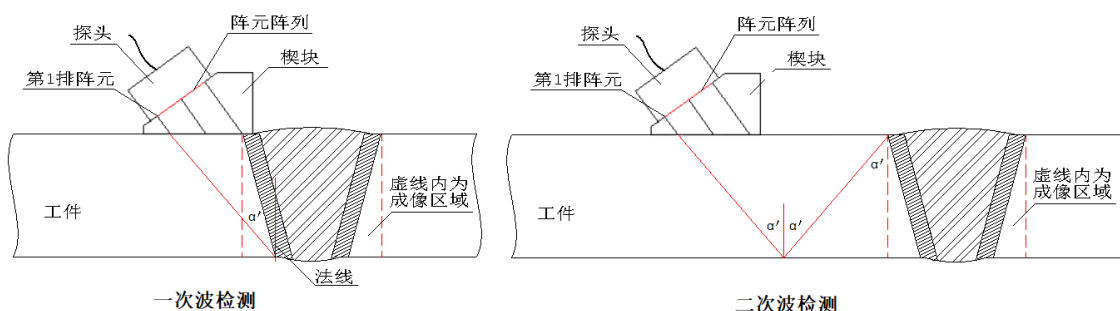


图9 成像区域示意图

4.4.7.2 设定成像区域的同时设定探头的前端距（探头位置）：

- 前端距的大小在保证图9中的 $\alpha'$ 的角度不小于 $40^\circ$ ；
- 成像区域图像的像素尺寸应符合表2的规定；
- 成像区域内场校准后应能够有效覆盖检测区域。

以上三条原则应同时满足，否则应分区设置检测；分区原则亦应同时满足以上三条原则，同时满足4.4.11条要求；一次波和二次波同时成像及二次波单独成像同样应满足以上三条原则。

注： $\alpha'$ 角为阵列探头第一排阵元和探头侧检测区域边缘连线与该点法线形成的夹角，该连线应在-6dB扩散角范围之内，使用公式 $\sin \gamma = F \cdot C_1 / (P \cdot f)$ 计算，式中 $\gamma$ 为楔块中的-6dB扩散角、 $F$ 取0.44、 $C_1$ 为楔块纵波声速、 $P$ 为线阵探头阵元间距、 $f$ 为探头频率。

4.4.7.3 为提高图谱分辨力和缺陷检出率，成像区域设定时（前端距确定）第一次扫查宜使探头楔块前沿应尽量靠近焊缝边缘进行检测，当工件壁厚较大或二次波不能满足 $\alpha'$ 角度不小于 $40^\circ$ 要求时，应分区进行检测；当工件壁厚较小且 $\alpha'$ 角度不小于 $40^\circ$ 要求时，宜使用一次波和二次波同时成像检测。

4.4.7.4 当一次波发现上表面及其附近缺陷需要对缺陷高度准确定量且只能单面检测时，应使用二次波对缺陷辅助定量；工件壁厚大于100mm不宜使用二次波检测。

4.4.7.5 当现场只能使用一次波检测且不修磨焊缝，场校准文件加载后单面双侧检测试块上确定检测面无盲区或盲区较小时（不包括焊缝余高），只是采用表面检测方法作为补充检测时，检测方案应经合同各方审批同意后方可实施检测。

#### 4.4.8 检测系统参数

根据所采用的扫查方式确定，设置时应考虑如下因素：

a) 探头参数：阵元间距、阵元数量、探头频率、零点（实测）。

b) 楔块参数：中心阵元高度、楔块角度、楔块声速、前沿。

c) 工件参数：工件声速（实测）、工件厚度（实测）。

d) 检测参数：发射电压（确保超声波要有足够的穿透力）、脉冲宽度（500/频率，适当微调达到最佳分辨力）、脉冲重复频率（小于阵元数量 $\times$ 声速/2倍声程且不出现幻像波取较大值）、频带范围（滤波器，根据探头频率取适当范围）、增益（检测灵敏度）。

e) 成像区域参数：区域宽度（一帧图像实际宽度）、区域长度（成像区域实际长度）、区域高度（成像区域深度结束线）、区域深度（成像区域深度开始线）、X轴偏移（区域宽度在探头宽度方向的偏移）、Y轴偏移（区域长度在水平方向偏离中心阵元的尺寸，和前端距相对应）。

#### 4.4.9 探头的选择原则

4.4.9.1 根据工件的材质及衰减选择探头类型，细晶焊缝检测一般选用横波线阵探头、双晶横波线阵探头，也可选用横波面阵探头；粗晶焊缝一般选用双晶纵波线阵探头，也可选用双晶纵波面阵探头；检测小径管环焊缝应选用横波线阵自聚焦探头；阵元数量线阵探头一般应不少于32阵元，面阵探头不少于64阵元。

4.4.9.2 探头的频率、阵元尺寸（阵元长度、阵元宽度）的选择应综合考虑工件的厚度、有效声场范围；随工件厚度增加探头频率应降低，阵元尺寸应增加，同时应考虑探头的频率和阵元尺寸对有效声场范围的影响，声场范围应涵盖检测区域，但不能太大造成能量过于分散使灵敏度降低影响图像效果；在满足信噪比前提下应尽量选择频率更高、阵元数量更多的探头进行检测。

#### 4.4.10 扫查速度

4.4.10.1 手动锯齿形扫查时，探头移动速度不超过50mm/s。

4.4.10.2 采用纵向垂直扫查、纵向倾斜扫查和横向垂直扫查等扫查方式连续成像时，应保证扫查速度不大于最大扫查速度  $v_{max}$  且扫查速度应均匀，同时应满足耦合效果和数据采集的要求。

最大扫查速度按式（1）计算：

$$v_{max} = \text{帧频} \times \text{区域宽度} \quad (1) \quad \square\square$$

#### 4.4.11 扫查覆盖

4.4.11.1 纵向垂直扫查时，若在焊缝长度方向进行分段扫查，则各段扫查区的重叠不小于20mm；对于环焊缝扫查停止位置应超过起始位置至少20mm。

4.4.11.2 相同深度区域需要多个纵向垂直扫查覆盖整个检测区域时，各扫查区域长度之间的重叠不小于10mm。

4.4.11.3 高度区域需要分区检测时，各扫查区域深度之间的重叠不小于相邻区域高度的25%且不小于10mm。

4.4.11.4 局部检测手动锯齿形扫查时，相邻两次探头移动间隔应小于区域宽度。

#### 4.4.12 灵敏度补偿

##### 4.4.12.1 耦合补偿

在连续记录图谱检测时，应对由表面粗糙度和平整度引起的耦合损失进行补偿。

##### 4.4.12.2 衰减补偿

当检测工件与灵敏度试块确定存在材质衰减差异时，在检测和缺陷定量时，应对材质衰减引起的检测灵敏度差异和缺陷定量误差进行补偿。

##### 4.4.12.3 曲面补偿

探测面和底面是曲面的工件，应采用曲率半径与工件相同或相近的对比试块，否则应通过对比试验进行曲率补偿。

#### 4.4.13 场校准

4.4.13.1 根据工件厚度按照表4、表13、表14、附录B选择相应场校准试块。

4.4.13.2 根据确定的检测工艺选择相应的检测模块，在工艺参数界面，准确输入的探头参数、楔块参数、工件（试块）参数；在校准界面输入设定的检测参数和成像区域参数，检测参数除增益外其他在检测中不能更改，成像区域参数在检测时可以在此成像区域内调整；在通孔位置栏中准确输入区域高度范围中的通孔深度。

4.4.13.3 应用法则且清除以往的应用，成像区域内不允许强度较大的界面波等存在；且人工反射体信噪比大于20dB，确认后方可应用系统校零；成像区域内深度大于等于10mm的横孔场校准前回波声压应在6dB范围之内。

4.4.13.4 校准时应缓慢前后移动探头，为使其能够采集到最高回波，探头前后移动时应确保声束与反射面垂直；校准完成后前后移动探头检查整个成像区域内的一竖排横孔上下左右位置回波幅度应在

2dB范围内；上部深度4mm/5mm的孔若不能在整个区域长度内显示应记录可显示的位置，同时检查记录相应试块表面上的刻槽和近表面斜槽（斜孔）在整个区域长度内显示的位置（或在盲区试块试块上测定），根据记录调整检查工艺，使其能够对检测区域有效检测。

#### 4.4.14 温度

4.4.14.1 应确保在规定的温度范围内进行检测；采用常规探头和耦合剂时，被检件的表面温度应控制在0℃~50℃；超出该温度范围，可采用特殊探头和耦合剂。

4.4.14.2 若温度过低或过高，一般应采取有效措施避免。若无法避免，应评价其对检测结果的影响。

4.4.14.3 检测系统设置和校准时的温度与实际检测温度之差应控制在±15℃之内。

#### 4.4.15 检测系统的复核

##### 4.4.15.1 复核时机

在如下情况时应进行复核：

- a) 检测过程更换探头或耦合剂时；
- b) 检测人员怀疑时；
- c) 连续工作4小时以上时；
- d) 检测结束时。

##### 4.4.15.2 复核要求（复核时用的对比试块应与初始设置时的对比试块相同）

###### 4.4.15.2.1 缺陷深度和水平位置的复核

使用对比试块测定横孔的深度位置和水平位置，误差不大于2mm或壁厚的3%（取较大值），做好记录评定图谱时对缺陷的位置修正；误差大于2mm或壁厚的3%（取较大值）时，应重新测定工件声速、楔块角度、中心高度、前沿，填入正确值重新检测。

###### 4.4.15.2.2 灵敏度的复核

灵敏度偏差小于等于3dB应做好记录，评定图谱时软件纠偏；大于3dB应重新检测。

###### 4.4.15.2.3 位置传感器的复核

当检测设备所显示的位移和实际位移的误差大于1%且不大于5%时，重新校准精度继续检测，大于5%时应对上次设置以后所检测的位置进行修正。

#### 4.5 安全要求

应符合检测单位、建设单位、使用单位和监理单位的各项安全规定和安全制度。

### 5 承压设备焊接接头3D全聚焦相控阵超声检测方法（I型）

#### 5.1 范围

5.1.1 本章适用于碳钢、低合金钢制承压设备焊接接头的3D全聚焦相控阵超声检测，其适用范围见表3。

5.1.2 其他细晶各向同性的低声衰减金属材料焊接接头的3D全聚焦相控阵超声检测可参照本标准执行，但应考虑材料声学特性和几何结构的变化。

表3 焊接接头3D全聚焦相控阵超声检测适用范围

单位：mm

承压设备类型	焊接接头类型	工件厚度t	检测面直径
锅炉、压力容器	筒体（或封头）对接接头	$\geq 6 \sim 300$	$\geq 100$ ，纵向对接接头时内外径比 $\geq 70\%$
			$\geq 159$ 的环向对接接头
	接管与筒体（或封头）角接头	$\geq 6 \sim 200$	插入式：筒体（或封头） $\geq 500$ ，内外径比 $\geq 70\%$ ，接管内径 $\geq 120$ 安放式：筒体（或封头） $\geq 300$ ，接管内径 $\geq 100$
	T型焊接接头	$\geq 6 \sim 200$	——
	管子环向对接接头	$\geq 6 \sim 150$	外径 $\geq 159$
	管子纵向对接接头	$\geq 6 \sim 150$	外径 $\geq 100$ 且内外径比 $\geq 70\%$
压力管道	环向对接接头	$\geq 6 \sim 150$	外径 $\geq 159$
	纵向对接接头	$\geq 6 \sim 150$	外径 $\geq 100$ 且内外径比 $\geq 70\%$

注：a) 对于对接接头，焊缝两侧母材厚度相等时，工件厚度t为母材公称厚度；焊缝两侧母材厚度不等时，工件厚度t为薄侧母材公称厚度；b) 对于插入式接管角接头，工件厚度t为筒体或封头公称厚度；安放式接管与筒体（或封头）角接头，工件厚度t为接管公称厚度；c) 对于T型焊接接头，工件厚度t为腹板公称厚度。

## 5.2 3D全聚焦相控阵超声检测技术等级

5.2.1 3D全聚焦相控阵超声检测技术等级分为A、B、C三个检测级别。

### 5.2.2 检测技术等级的选择

3D全聚焦相控阵超声检测技术等级选择应符合在制（制造、安装）、在用等有关规范、标准及设计图样规定；承压设备焊接接头一般应采用B级检测技术等级进行检测，对重要部位的焊接接头，可采用C级检测技术等级进行检测。

### 5.2.3 不同检测技术等级的要求

#### 5.2.3.1 A级检测

A级检测仅适用于母材厚度为3.2mm~40mm的焊接接头，应保证相控阵声束对检测区域实现至少一次全覆盖。

a) 一般在单面双侧使用一次波和二次波进行检测；如果受结构限制无法在单面双侧进行检测时，单面焊焊接接头可在单面单侧使用一次波和二次波进行检测，双面焊焊接接头可在双面单侧（同侧）使用一次波进行检测，若只能单面单侧检测，也可在单面单侧使用一次波和二次波进行检测。

b) 一般不需要进行横向缺陷检测。

#### 5.2.3.2 B级检测

B级检测适用于工件厚度为3.2mm~200mm的焊接接头的检测，应保证相控阵声束对检测区域实现至少两次全覆盖：

a)  $6\text{mm} \leq t \leq 40\text{mm}$ 的焊接接头一般在单面双侧使用一次波和二次波进行检测；如果受结构限制无法在单面双侧进行检测时，单面焊焊接接头可在单面单侧采用两种孔径探头（相差最小40%）使用一次波和二次波进行检测；双面焊焊接接头可在双面单侧（同侧）使用一次波和二次波进行检测，对于表5中的焊缝若只能单面单侧检测时应将焊接接头余高磨平，使用一次波和二次波进行检测，并在焊缝中心线处使用一次波增加一个方向的纵向垂直扫查，并采用两个方向的锯齿形扫查对整个检测区域进行扫查，若锯齿形扫查时发现缺陷，则应在缺陷位置处采用纵向垂直扫查连续记录缺陷图谱。

b) 表5中 $40\text{mm} < t \leq 100\text{mm}$ 的焊接接头可在双面双侧使用一次波进行检测；也可在单面双侧使用一



次波和二次波进行检测，或在双面单侧（同侧）使用一次波和二次波进行检测；如果受结构限制只能单面单侧检测时应将焊接接头余高磨平，使用一次波和二次波进行检测，并在焊缝中心线处使用一次波增加两个方向的纵向垂直扫查，并采用两个方向的锯齿形扫查对整个检测区域进行扫查，若锯齿形扫查时发现缺陷，则应在缺陷位置处采用纵向垂直扫查连续记录缺陷图谱。

c) 表5中 $100\text{mm} < t \leq 200\text{mm}$ 的焊接接头应在双面双侧使用一次波进行检测；如果受结构限制而选择单面双侧或双面单侧检测时，须将焊接接头余高磨平，使用一次波进行检测，对上部100mm在焊缝中心线处增加两个方向的纵向垂直扫查，并采用两个方向的锯齿形扫查对整个检测区域进行扫查，若锯齿形扫查时发现缺陷，则应在缺陷位置处采用纵向垂直扫查连续记录缺陷图谱。

d) 应作横向缺陷检测，检测时应在焊缝两侧边缘使探头与焊缝中心线成 $10^\circ \sim 20^\circ$ 作两个方向的手动锯齿形扫查，发现缺陷后，采用纵向倾斜扫查连续记录缺陷图谱；或采用焊缝双侧布置探头串列扫查，当有效区域大于检测区域宽度时连续记录图谱，否则采用锯齿形扫查，发现横向缺陷后局部磨平余高，采用横向垂直扫查连续记录缺陷图谱；也可使用常规超声按照NB/T 47013.3-2015进行横向缺陷检测；对于余高磨平的焊缝，可将探头放在焊缝及热影响区上作两个方向的锯齿形扫查，发现缺陷后采用横向垂直扫查连续记录缺陷图谱。

#### 5.2.3.3 C级检测

C级检测适用于工件厚度为 $6\text{mm} \sim 300\text{mm}$ 的焊接接头的检测，应保证相控阵声束对检测区域实现至少两次全覆盖：

a) 采用C级检测时应将焊缝的余高磨平；对探头扫查经过的母材区域要按照5.5.4条进行检测； $t \geq 40\text{mm}$ 的焊接接头还应在焊缝顶部增加3D纵波直入射检测。

b) 表5中 $6\text{mm} \leq t \leq 15\text{mm}$ 的焊接接头一般在单面双侧使用一次波和二次波进行检测；如果受结构限制无法在单面双侧进行时，可在双面单侧使用一次波和二次波进行检测。

c) 表5中 $15\text{mm} < t \leq 100\text{mm}$ 的焊接接头一般在双面双侧使用一次波进行检测；如果受结构限制而选择单面双侧或双面单侧检测时，应在焊缝中心线处增加两个方向的纵向垂直扫查，并采用两个方向的锯齿形扫查对整个检测区域进行扫查。若锯齿形扫查时发现缺陷，则应在缺陷位置处采用纵向垂直扫查连续记录缺陷图谱。

d) 表5中 $100\text{mm} < t \leq 300\text{mm}$ 的焊接接头一般在双面双侧使用一次波进行检测；如受几何条件限制而选择单面双侧或双面单侧检测时，对上部100mm在焊缝中心线处增加两个方向的纵向垂直扫查，并采用两个方向的锯齿形扫查对整个检测区域进行扫查，若锯齿形扫查时发现缺陷，则应在缺陷位置处采用纵向垂直扫查连续记录缺陷图谱。

e) 应作横向缺陷检测，可将探头放在焊缝及热影响区上作两个方向的手动锯齿形扫查，发现缺陷后采用横向垂直扫查连续记录图谱；或使用常规超声按照NB/T 47013.3-2015进行横向缺陷检测。

5.2.3.4 在单面单侧或双面单侧进行的检测，每面每侧均应实现一次声束全覆盖，即成像区域长度（有效检测区长度）应不小于检测区域宽度，否则应将焊缝磨平增加探头位置补充检测。

5.2.3.5 在焊缝中心线处增加的纵向垂直扫查，可以不受 $\alpha'$ 的角度不小于 $40^\circ$ 的限制。

5.2.3.6 当要求对检测区域进行二次或二次以上全覆盖时，应尽可能使其中两次覆盖的声束来自大致相互垂直的两个方向。

### 5.3 对比试块

5.3.1 对比试块的制作应符合4.2.6.3的规定。

5.3.2 检测面曲率半径大于等于250mm的对接接头对比试块为场校准-I（图10）、场校准-II（图11）、场校准-III（图12），适用范围见表4。

表4 场校准系列试块及其使用范围

单位：mm

试块	适用区域高度	试块厚度T	横孔深度	横孔直径d
场校准-I	6~100	110	4/10/20/30/40/50/60/70/80/90/100	$\phi 2$
场校准-II	100~200	220	5/20/40/60/80/100/120/140/160/180/200	$\phi 2$
场校准-III	200~300	320	10/30/60/90/120/150/180/210/240/270/300	$\phi 6$

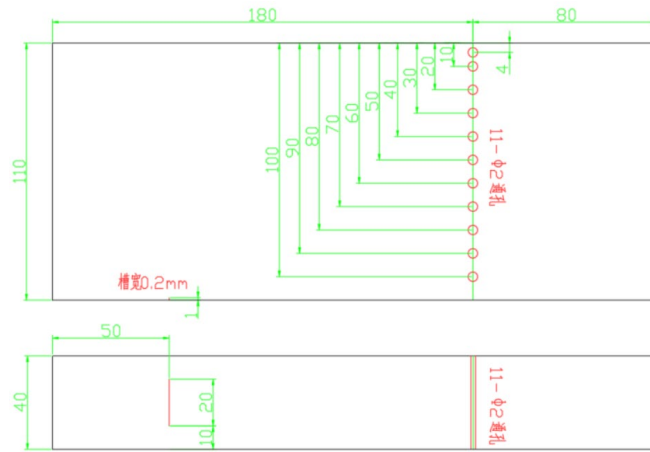


图10 场校准-I 试块

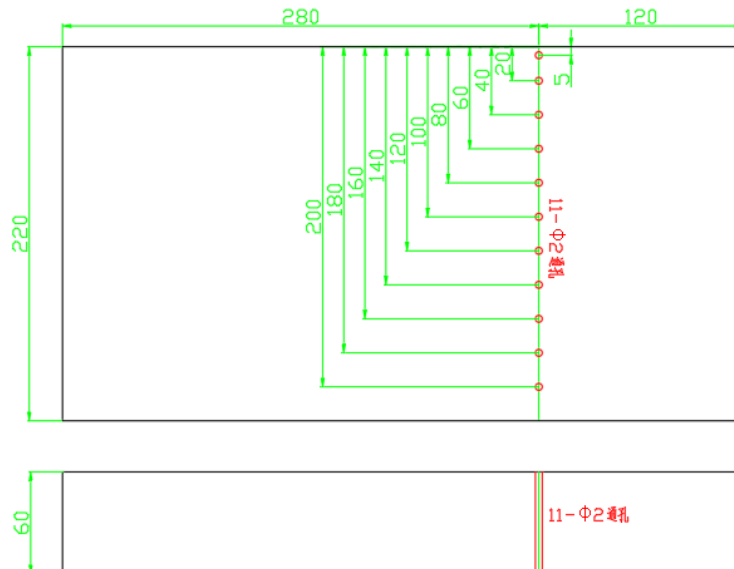


图11 场校准-II 试块

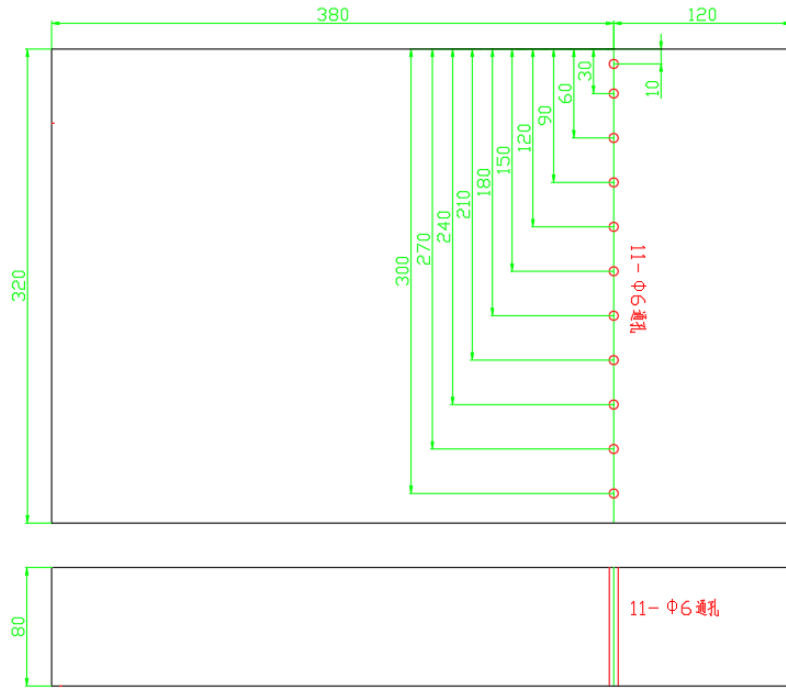


图12 场校准-III试块

5.3.3 检测面曲率半径小于250mm的对接接头对比试块应将场校准系列试块加工相应曲率，环焊缝工件检测面曲率半径应在对比试块曲率半径的0.9~1.5倍（可以使用RB-C试块），纵焊缝工件检测面曲率半径应在对比试块曲率半径的0.9~1.1倍（可以使用RB-L试块）。

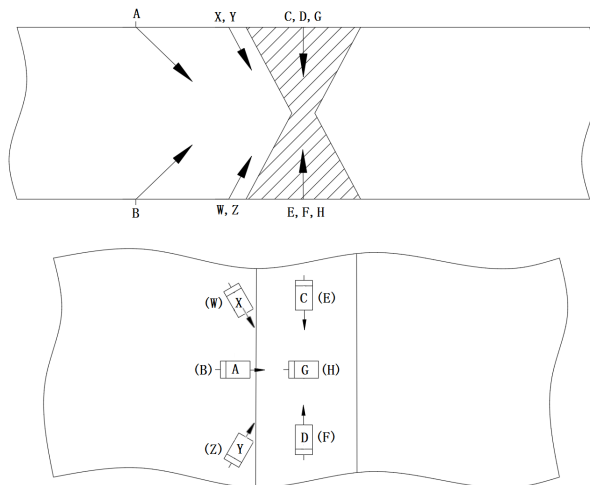
5.3.4 对不等厚对接接头进行检测时，试块厚度的选择应由工件厚侧厚度确定，检测灵敏度和质量分级应由工件薄侧厚度确定。

5.3.5 二次波检测底面曲率较大的工件时应测量反射损失，大于2dB评定时应补偿。

#### 5.4 不同类型焊接接头检测的具体要求

##### 5.4.1 平板对接接头

平板对接接头检测的具体要求见图13和表5；直径小于500mm的曲率工件也按此执行。



注：A, B, C, D, E, F, G, H, W, X, Y, Z为探头位置

图13 平板对接接头3D全聚焦相控阵检测探头位置示意图

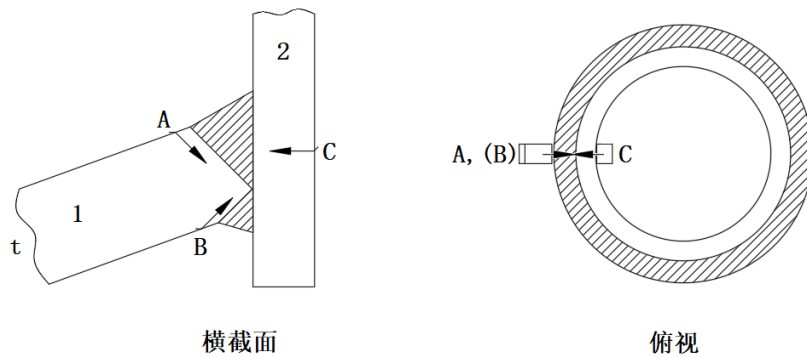
表5 平板对接接头3D全聚焦相控阵检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度t/mm	纵向缺陷检测			横向缺陷检测
		斜入射检测		直入射检测	斜入射检测
		检测面 (侧)	扫描设置	探头位置	探头位置
A级	$6 \leq t \leq 40$	单面双侧或	一次波和二次波	—	—
		双面单侧或	一次波	—	—
		单面单侧	一次波和二次波	—	—
B级	$6 \leq t \leq 40$	单面双侧	一次波和二次波	—	(X和Y) 或 (W和Z) 或 串列
	$40 < t \leq 100$	双面双侧或	一次波	—	(X和Y) 或 (W和Z) 或 串列
		单面双侧或	一次波和二次波	—	(X和Y) 或 (W和Z) 或 串列
		双面单侧	一次波和二次波	—	(X和Y) 或 (W和Z) 或 串列
	$100 < t \leq 200$	双面双侧	一次波	—	(X和Y) 或 (W和Z) 或 串列
C级	$6 \leq t \leq 15$	单面双侧	一次波和二次波	—	(C和D) 或 (E和F)
	$15 < t \leq 40$	双面双侧	一次波	—	(C和D) 或 (E和F)
	$40 < t \leq 100$	双面双侧	一次波	单面 (G或H)	(C和D) 或 (E和F)
	$100 < t \leq 300$	双面双侧	一次波	单面 (G或H)	(C和D) 或 (E和F)

注：有效声场范围应覆盖成像区域，并对成像区域实现有效检测，否则应增加探头位置检测。

5.4.2 插入式接管角接接头

插入式接管角接接头检测的具体要求见图14和表6。



注：A, B, C为探头位置 1-筒体或封头 2-接管 t-壁厚

图14 插入式接管角接接头3D全聚焦相控阵检测探头位置示意图

表6 插入式接管角接接头3D全聚焦相控阵检测的具体要求

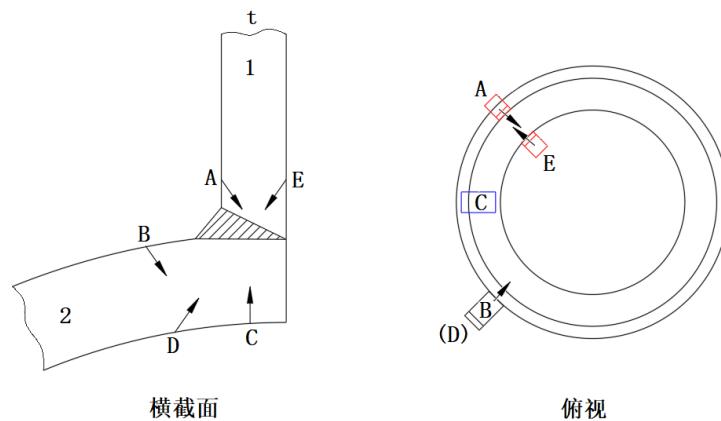
检测技术等级	工件厚度 t/mm	斜入射 <sup>a, b, c</sup>		直入射 <sup>d</sup>
		检测面 (侧)	扫描设置	探头位置
A级	$6 \leq t \leq 40$	A或B	一次波和二次波	C
B级	$6 \leq t \leq 40$	A和B	一次波和二次波	C
	$40 < t \leq 100$	A和B	一次波和二次波	C
	$100 < t \leq 200$	A和B	一次波	C (必须)

C级	$6 \leq t \leq 100$	A和B	一次波和二次波	C (必须)
	$100 < t$	A和B	一次波	C (必须)

a) 如需进行横向缺陷的检测按NB/T 47013.3的规定进行。  
b) 当接管厚度满足对整体焊缝的覆盖且灵敏度满足检测时,也可以接管外侧放置探头使用二次波进行检测,替代 A或B 其中的一个探头位置的检测。  
c) 如不能实现检测区域的全覆盖次数,应增加探头位置检测。  
d) 该探头位置检查是非常必要的,非必须栏也应尽量在该位置实施检测,且非必须栏可替代 A或B 其中的一个探头位置的检测。  
注:应确保耦合效果,由于结构原因耦合不良时应使用不同形式和曲率的楔块进行检测。

### 5.4.3 安放式接管角接头

安放式接管角接头检测的具体要求见图15和表7。



注: A, B, C, D, E为探头位置 1-接管 2-筒体或封头 t-壁厚

图15 安放式接管角接头3D全聚焦相控阵检测探头位置示意图

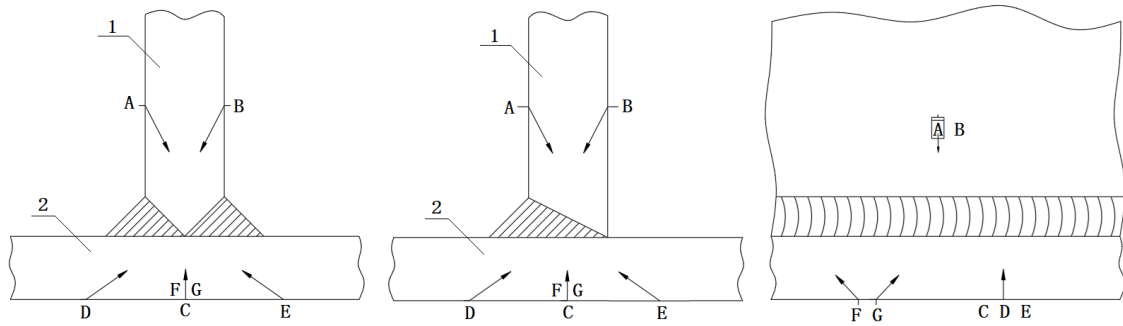
表7 安放式接管角接头3D全聚焦相控阵检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度 $t/\text{mm}$	斜入射 <sup>a, b, c</sup>		直入射 <sup>d</sup>
		检测面(侧)	扫描设置	探头位置
A级	$6 \leq t \leq 40$	A或E或	一次波和二次波	C
		D或B	一次波或二次波	
B级	$6 \leq t \leq 40$	(A或E)和	一次波和二次波	C
		D或B	一次波或二次波	
	$40 < t \leq 100$	(A或E)和	一次波和二次波	C
		D或B	一次波或二次波	
C级	$6 \leq t \leq 40$	(A或E)和	一次波和二次波	C
		D或B	一次波或二次波	
C级	$40 < t \leq 100$	(A或E <sup>b</sup> )和	一次波和二次波	C
		D或B	一次波或二次波	
C级	$100 < t$	A和E和D	一次波	C

- a) 如需进行横向缺陷的检测按NB/T 47013.3的规定进行。  
 b) 当A位置二次波检测灵敏度不足时,可在E位置进行检测。  
 c) 如不能实现检测区域的全覆盖次数,应增加探头位置检测。  
 d) 必要时增加此位置的检测,此位置检测可替代B或D位置检测。  
 注:应确保耦合效果,由于结构原因耦合不良时应使用不同形式和曲率的楔块进行检测。

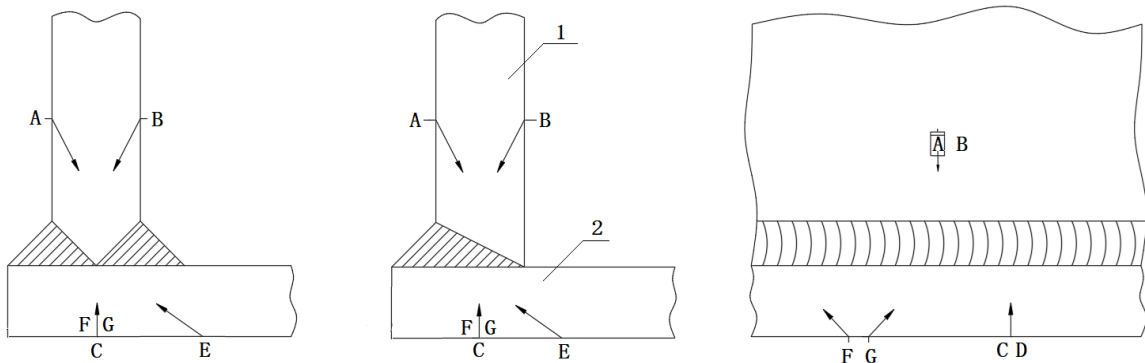
#### 5.4.4 T型焊接接头

T型焊接接头检测的具体要求见图16和表8。



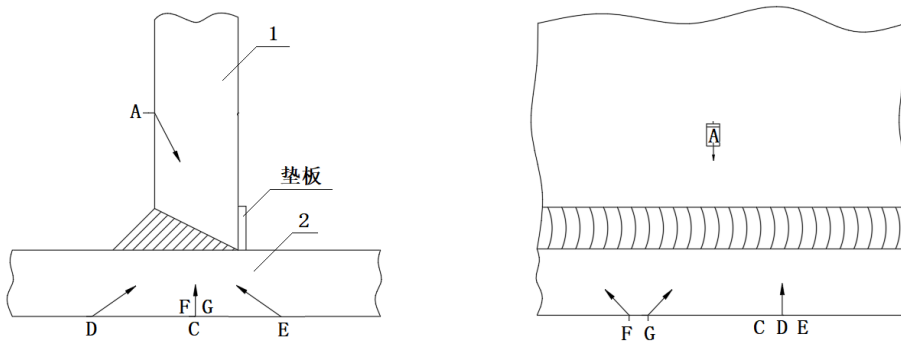
注: A、B、C、D、E、F、G为探头位置; 1-腹板 2-翼板

T型接头型式1



注: A、B、C、F、G为探头位置; 1-腹板 2-翼板

T型接头型式2



注: A、B、C、D、F、G为探头位置; 1-腹板 2-翼板

T型接头型式3

图16 T型焊接接头3D全聚焦相控阵检测探头位置示意图

表8 T型焊接接头3D全聚焦相控阵检测的具体要求

检测技术等级	工件厚度t/mm	纵向缺陷检测				横向缺陷检测	
		斜入射检测 <sup>a</sup>				直入射检测	斜入射检测
		双面焊		单面焊		探头位置	探头位置
		检测面（侧）	扫描设置	检测面（侧）	扫描设置		
A级	6≤t≤40	(A或B)或	一次波和二次波	(A或B)或	一次波和二次波	C <sup>b</sup>	——
		D或E	一次波	D	一次波		
B级	6≤t≤40	(A或B)和	一次波和二次波	(A或B)和	一次波和二次波	C <sup>b</sup>	F和G
		D和E	一次波	D	一次波		
	40<t≤100	(A和B)或	一次波	(A和B)或	一次波	C <sup>b</sup>	F和G
		(A或B)和	一次波和二次波	(A或B)和	一次波和二次波		
		D和E	一次波	D	一次波		
	100<t≤200	(A和B)和	一次波	(A和B)和	一次波	C <sup>b</sup>	F和G
		D和E	一次波	D	一次波		
	C级	6≤t≤40	(A或B)和	一次波和二次波	(A或B)和	一次波和二次波	C <sup>b</sup>
D和E			一次波	D	一次波		
40<t≤100		(A和B)和	一次波	(A和B)和	一次波	C	F和G
		D和E	一次波	D和E	一次波		
100<t		(A和B)和	一次波	(A和B)和	一次波	C	F和G
		D和E	一次波	D和E	一次波		

a) 如不能实现检测区域的全覆盖次数,应增加探头位置检测。  
 b) 当A或(和)B位置已检测C位置检测可以替代D或(和)E位置检测  
 注:有效声场范围应覆盖成像区域,并对成像区域实现有效检测,否则应增加探头位置检测。

## 5.5 检测工件准备

### 5.5.1 表面制备

5.5.1.1 探头移动区内应清除焊接飞溅、铁屑、油漆、油垢、锈蚀及其他杂质,一般应进行打磨;检测面应平整,便于探头的移动,表面粗糙度Ra≤12.5 μm;打磨宽度根据工艺设置确定。

5.5.1.2 去除余高的焊缝,应将余高修磨到与邻近母材平齐,建议使用机械对磨方法以确保修磨后的平整度;保留余高的焊缝,如果焊缝表面有咬边、较大的隆起和凹陷等也应进行适当的修磨,并作圆滑过渡以免影响检测结果的评定。

### 5.5.2 检测标识

检测前应在工件扫查面上予以标记,标记内容至少包括扫查起始点和扫查方向,起始标记应用“0”表示,扫查方向用箭头表示;当焊缝长度较长需要分段检测时,应画出分段标识;所有标记应对扫查无影响。

### 5.5.3 参考线

5.5.3.1 用于纵向垂直扫查时探头端部沿扫查方向行走的直线或曲线。

5.5.3.2 检测前,应在扫查面上画出参考线,参考线的位置即为探头的前端距,前端距的设定应符合

合4.4.7条规定，参考线距焊缝中心线距离的误差为±1mm。

#### 5.5.4 母材检测

5.5.4.1 对于C级检测或必要时，3D斜入射扫查声束通过的母材区域，应使用3D纵波直入射检测，以便检测是否有影响3D斜入射检测结果的分层或其他类型缺陷存在。该项检测仅作参考，不属于对母材的验收检测。母材检测的要点如下：

a) 扫查灵敏度:加载场校准文件后，使用NB/T47013.3-2015钢板试块，阵列探头对准近似工件厚度处的 $\phi 5$ 平底孔，调节数字增益使该平底孔影像颜色由绿变红（波高80%），且图谱中直径大小为5mm，以此作为基准灵敏度。

b) 母材扫查采用纵波直入射扫查连续记录图谱，凡有波高大于40%的缺陷部位，应在工件表面作出标记，并予以记录。

5.5.4.2 也可使用常规超声按照NB/T47013.3-2015进行检测。

#### 5.6 检测系统准备

##### 5.6.1 3D横波斜入射探头和楔块的选择

5.6.1.1 一般选择标称频率2.5MHz~10MHz的线阵探头或面阵探头，线阵探头阵元数量不小于32阵元，面阵探头阵元数量不小于64阵元；建议使用线阵探头，壁厚大于10mm建议使用64阵元的线阵探头，与工件厚度有关的相控阵线阵探头参数选择可参考表9，厚度检测分区应符合4.4.7条的要求。

表9 检测焊接接头时3D横波斜入射线阵探头参数选择推荐表

工件厚度/mm	孔径长度/mm	标称频率/MHz
6~15	8.0~19.2	7.5~10
15~40	19.2~38.4	5~7.5
40~100	38.4~64.0	2.5~5
100~300	≥64.0	2.5~3

5.6.1.2 楔块入射角度应使钢中折射角在45°~65°范围，中心阵元高度应满足探头孔径长度的要求，即使成像区域避开楔块界面波的影响；检测面为曲面时，楔块的曲率应与工件的形状相吻合，楔块边缘与检测面的间隙应小于0.5mm。

##### 5.6.2 3D纵波直入射探头和楔块的选择

5.6.2.1 一般选择标称频率2.5MHz~7.5MHz的线阵探头，阵元数量不小于64阵元，与工件厚度有关的相控阵探头参数选择可参考表10。

表10 检测焊接接头时3D纵波直入射探头参数选择推荐表

检测厚度/mm	孔径长度/mm	标称频率/MHz
6~40	18~40	5~10
40~100	38~64	4~5
100~200	64~96	3~5
200~300	≥64	2.5~5

5.6.2.2 采用3D纵波直入射时可采用0°楔块或保护膜，检测近表面缺陷时应使用楔块，使用0°楔



块时楔块高度应使成像区域避开楔块界面波的影响，必要时应使用双晶探头和楔块；检测面为曲面时，楔块的曲率应与工件的形状相吻合，楔块边缘与检测面的间隙应小于0.5mm。

### 5.6.3 场校准曲线的绘制和检测灵敏度确定

#### 5.6.3.1 场校准曲线的绘制

在检测界面加载场校准文件后，在成像区域内找到相应场校准试块一竖排横孔，调节数字增益使一竖排长横孔的影像颜色由绿变红（波高80%），此时的增益值为长横孔的基础值，在此基础上按照4.4.12条灵敏度补偿后按照表11根据工件厚度制作场校准曲线，该曲线族由评定线、定量线和判废线组成。评定线与定量线之间（包括评定线）为I区，定量线与判废线之间（包括定量线）为II区，判废线及其以上区域为III区，如图17所示。

表11 横波斜入射或纵波直入射检测场校准曲线灵敏度

试 块	工件厚度/mm	评定线	定量线	判废线
场校准-I	6~40	$\phi 2-18\text{dB}$	$\phi 2-12\text{dB}$	$\phi 2-4\text{dB}$
场校准-I	>40~100	$\phi 2-14\text{dB}$	$\phi 2-8\text{dB}$	$\phi 2+2\text{dB}$
场校准-II	>100~200	$\phi 2-10\text{dB}$	$\phi 2-4\text{dB}$	$\phi 2+6\text{dB}$
场校准-III	>200~300	$\phi 6-13\text{dB}$	$\phi 6-7\text{dB}$	$\phi 6+3\text{dB}$

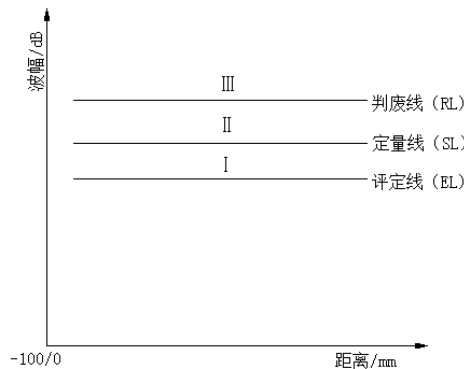


图17 场校准曲线

#### 5.6.3.2 扫查灵敏度的确定

以定量线波高80%作为扫查灵敏度；检测横向缺陷时，应将各线灵敏度均提高6dB。

### 5.7 现场检测

5.7.1 检测区域和成像区域的确定、检测前的检查、检测方式、扫查速度、扫查覆盖、检测复核等严格按照第4章的规定执行，检测的具体要求按5.2和5.4执行。

#### 5.7.2 图谱存储

连续扫查应连续存储原始格式的图谱，文件名应与检测位置编号相对应；手动锯齿形扫查发现缺陷后按5.2条要求存储缺陷原始格式的图谱；对于无法检测的部位应做好记录。

### 5.8 检测图谱的评价和显示分类

#### 5.8.1 检测图谱的有效性

5.8.1.1 分析图谱前应对所采集的图谱进行评估以确定其有效性，至少应满足以下要求：

- a) 检测图谱应耦合良好；
- b) 图谱的长度应与实际相符；
- c) 检测区域应在图谱成像区域之内；

5.8.1.2 若数据无效，应纠正后重新进行扫查。

5.8.2 显示的分类

5.8.2.1 检测结果的显示分为相关显示和非相关显示。

5.8.2.2 分析有效数据是否存在相关显示，对于相关显示应进行缺陷定量和评定。

5.9 缺陷定量

5.9.1 缺陷定量基准

缺陷定量以评定线为基准，对回波波幅达到评定线的缺陷，应确定其位置、指示长度、深度和自身高度（若需要）。

5.9.2 缺陷波幅

以不同检测面、焊缝两侧、一次波和二次波缺陷图谱的最大波幅作为缺陷的波幅。

5.9.3 缺陷位置

以缺陷的最大波幅位置为缺陷位置。

5.9.4 缺陷指示长度

当缺陷反射波只有一个高点，且位于Ⅱ区或Ⅲ区时，用-6dB法测量其指示长度；当缺陷反射波有多个高点，且位于Ⅱ区或Ⅲ区时，应以端点-6 dB法测量其指示长度；当缺陷位于Ⅰ区，以评定线灵敏度为基准，用绝对灵敏度法测量其长度；对于环焊缝曲率较大时应修正长度值。

5.9.5 缺陷深度

以缺陷最大反射波幅的位置作为缺陷深度，对于纵焊缝曲率较大时应修正深度。

5.9.6 缺陷自身高度

在图谱B型显示中以-6 dB法或端点衍射法测量缺陷的自身高度，必要时可将缺陷部位设定为成像区域，局部复检以提高定量精度。

5.10 缺陷评定

5.10.1 通过3D显示旋转观察缺陷，应注意其是否具有裂纹、未熔合及未焊透等类型缺陷的特征，如有怀疑应根据缺陷在焊缝中的位置和缺陷的形状及图谱的特点，以及材质和焊接方法估判缺陷的性质，不能判断时应辅以其他检测方法作综合判定。

5.10.2 相邻两个或多个非圆形缺陷显示，应在3D显示中旋转观察，其在X轴方向间距小于其中较小的缺陷长度，在Z轴方向间距小于其中较小的缺陷自身高度，Y轴方向小于2mm时，应作为一个缺陷处理，该缺陷深度、缺陷长度及缺陷自身高度按如下原则确定：

- a) 曲线波幅：以两缺陷的波幅大者作为单个缺陷波幅；
- b) 缺陷深度：以两缺陷深度较小值作为单个缺陷深度；

c) 缺陷指示长度：两缺陷在X轴投影上的前、后端点间距离；

d) 缺陷自身高度：若两缺陷在X轴投影无重叠，以其中较大的缺陷自身高度作为单个缺陷自身高度；若两缺陷在X轴投影有重叠，则以两缺陷自身高度之和作为单个缺陷自身高度（间距计入）。

## 6 承压设备管子和压力管道环向对接接头3D全聚焦相控阵超声检测（II型）

### 6.1 适用范围

本章适用于碳钢、低合金钢制锅炉、压力容器管子和压力管道环向对接焊接接头的3D全聚焦相控阵超声检测方法，适用范围见表12；本章适用的焊接接头检测技术等级应符合5.2条要求。

表12 承压设备管子和压力管道环向对接接头3D全聚焦相控阵超声检测适用范围

承压设备类型	焊接接头类型	工件厚度mm	检测面直径mm
锅炉、压力容器	管子环向对接接头	$\geq 6 \sim 50$	外径 $\geq 32 \sim 159$
		$\geq 3.2 \sim 6$	外径 $\geq 32$
压力管道	环向对接接头	$\geq 6 \sim 50$	外径 $\geq 32 \sim 159$
		$\geq 3.2 \sim 6$	外径 $\geq 32$

注：外径159的环向对接接头属于I型焊接接头。

### 6.2 对比试块

6.2.1 对比试块的制作应符合4.2.6.3的规定。

6.2.2 对比试块的曲率应与被检管径相同或相近，当管外径在32mm~159mm范围内时，其曲率半径之差不应大于被检管径的10%；对比试块可采用场校准-GS系列试块，其型号、形状和尺寸应分别符合图18和表13的规定；也可采用NB/T 47013.3所述的GS系列试块，其适用范围和使用原则按NB/T 47013.3的规定执行。

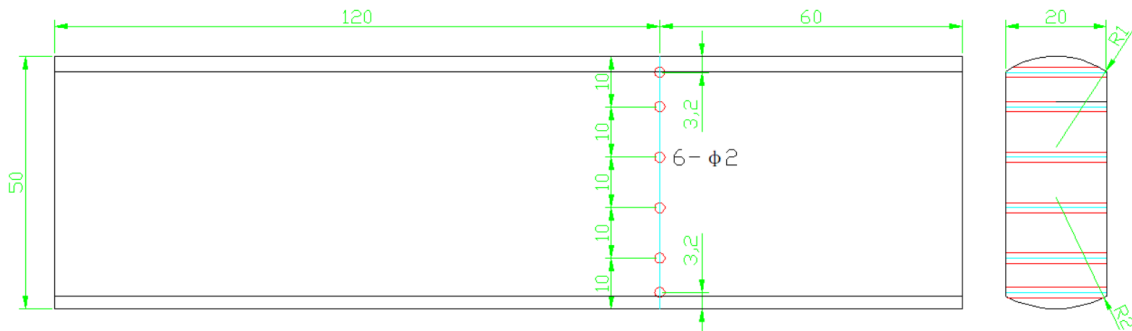


图18 场校准-GS试块形状和尺寸

表13 场校准-GS试块圆弧曲率半径

单位：mm

试块型号	试块圆弧曲率半径R1	适用管外径范围	试块圆弧曲率半径R2	适用管外径范围
场校准-GS1	18	32~40	22	40~48
场校准-GS2	26	48~57	32	57~72
场校准-GS3	40	72~90	50	90~110
场校准-GS4	60	110~132	72	132~159

注：当工件厚度大于25mm时，可按图18样式制作对比试块（宽度和高度适当增加并增加横孔数量）或采用与现场工件相同的专用试块。

6.2.3 当壁厚为3.2mm~6mm（不含6mm）且管外径大于等于159mm时，对比试块的曲率半径应为检测面曲率半径的0.9倍~1.5倍；对比试块可采用场校准-GS系列试块，其型号、形状和尺寸应分别符合图19和表14的规定。

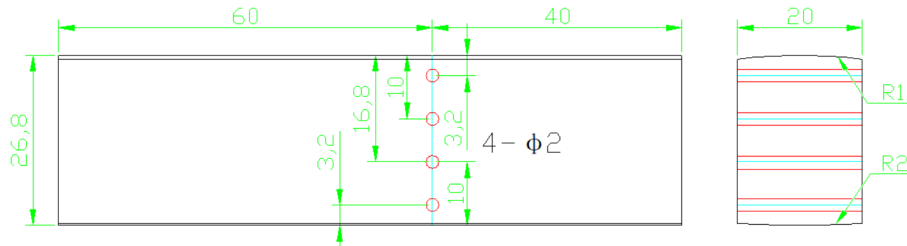


图19 场校准-GD试块形状和尺寸

表14 试块圆弧曲率半径

单位：mm

试块型号	试块圆弧曲率半径R1	适用管外径范围	试块圆弧曲率半径R2	适用管外径范围
场校准-GD1	88	159~264	147	264~440
场校准-GD2	244	440~732	平面	>732

6.2.4 在满足灵敏度要求时，试块上的人工反射体根据检测需要可采取其他布置形式或添加，也可采用其他型式的等效试块。

### 6.3 检测工件准备

检测工件准备应符合5.5条的规定。

### 6.4 检测系统准备

#### 6.4.1 3D横波斜入射探头和楔块的选择

6.4.1.1 一般选择标称频率5MHz~10MHz的线阵探头或面阵探头，线阵探头阵元数量不小于32阵元，面阵探头阵元数量不小于64阵元；建议使用线阵探头，壁厚大于10mm建议使用64阵元的线阵探头；与工件厚度有关的相控阵线阵探头参数选择可参考表15。

表15 检测焊接接头时3D横波斜入射线阵探头参数选择推荐表

工件厚度/mm	孔径长度/mm	标称频率/MHz
3.2~6	6.0~10	9~10
6~15	8.0~20	7.5~10
>15	18~40	5~7.5

注：外径小于100mm的检测，应使用自聚焦小径管专用探头，配小径管专用扫查器。

6.4.1.2 楔块入射角度应使钢中折射角在55°~65°范围，楔块的曲率应与工件的形状相吻合，楔块边缘与检测面的间隙应小于0.5mm。

#### 6.4.2 场校准曲线的绘制和检测灵敏度确定

##### 6.4.2.1 场校准曲线的绘制

在检测界面加载场校准文件后，在成像区域内找到相应场校准试块一竖排横孔，调节数字增益使一竖排长横孔的影像颜色由绿变红（波高80%），此时的增益值为长横孔的基础值，在此基础上灵敏度补

偿后按照表16根据工件厚度制作场校准曲线，该曲线族由评定线、定量线和判废线组成；评定线与定量线之间（包括评定线）为I区，定量线与判废线之间（包括定量线）为II区，判废线及其以上区域为III区，如图17所示。

表16 横波斜入射检测场校准曲线灵敏度

工件厚度/mm	评定线	定量线	判废线
≥3.2~6	φ2-14dB		φ2-8dB
≥6	φ2-16dB	φ2-10dB	φ2×20-4dB

6.4.2.2 以定量线波高80%作为扫查灵敏度。

## 6.5 现场检测

现场检测按5.7条的规定。

## 6.6 检测图谱的评价和显示分类

检测图谱的评价和显示分类5.8条的规定。

## 6.7 缺陷定量

缺陷定量应符合5.9条的规定。

## 6.8 缺陷评定

缺陷评定应符合5.10条的规定。

## 7 承压设备3D全聚焦相控阵超声检测质量分级

### 7.1 锅炉、压力容器本体焊接接头质量分级（I型）

7.1.1 锅炉、压力容器本体焊接接头包括筒体(或封头)对接接头、接管与筒体(或封头)角接接头及T型焊接接头。

7.1.2 锅炉、压力容器本体焊接接头不允许存在裂纹、坡口未熔合和未焊透等危害性缺陷，判定后评定为III级。

7.1.3 评定线以下的缺陷评为I级。

### 7.1.4 锅炉、压力容器本体焊接接头质量分级方法一（适用于制造安装阶段）

根据缺陷的波幅和长度按表17的规定进行评级。

表17 锅炉、压力容器本体焊接接头分级方法一

单位：mm

等级	工件厚度	缺陷波幅所在区域	允许的单个缺陷指示长度	多个缺陷累计长度最大允许值/ L'
I	≥6~100	I	≤50	-
	>100		≤75	-
	≥6~100	II	≤t/3, 最小可为10, 最大不超过30	在任意9t焊缝长度范围内 L' 不超过t且最大不超过150
	>100		≤t/3, 最大不超过50	
II	≥6~100	I	≤60	-
	>100		≤90	-

	$\geq 6 \sim 100$	II	$\leq 2t/3$ , 最小可为12, 最大不超过40	在任意4.5t焊缝长度范围内 $L'$ 不超过t且最大不超过200
	$> 100$		$\leq 2t/3$ , 最大不超过75	
III	$\geq 6$	I	超过 II 级者	
		II	超过 II 级者	
		III	所有条形缺陷	
注: 当焊缝长度不足9t (I级) 或4.5t (II级) 时, 可按比例折算。当折算后的多个缺陷累计长度允许值小于该级别允许的单个缺陷指示长度时, 以允许的单个缺陷指示长度作为缺陷累计长度允许值。				

### 7.1.5 锅炉、压力容器本体焊接接头质量分级方法二 (适用于在用阶段)

根据缺陷的长度和自身高度按表18的规定进行评级。

表18 锅炉、压力容器本体焊接接头质量分级方法二

单位: mm

质量等级	工件厚度 mm	单个缺陷						多个缺陷
		表面缺陷			埋藏缺陷			
		长度 $l_{max}$	高度 $h_3$	若 $l > l_{max}$ 缺陷高度 $h_1$	长度 $l_{max}$	高度 $h_2$	若 $l > l_{max}$ 缺陷高度 $h_1$	
I	$6 \leq t \leq 8$	t	1.0	-	t	1.5	1.0	1) 若多个缺陷其各自高度 h 均为: $h_1 < h \leq h_2$ 或 $h_3$ , 则在任意 12t 范围内 累计长度不得超过 2t 且最大值为 150mm; 2) 对于单个或多个允许的表面缺陷。 其最大累计长度不得大于整条焊缝长 度的 5% 且最长不得超过 200mm。
	$8 < t \leq 15$	8	2.0	1.0	8	2.0	1.0	
	$15 < t \leq 40$	15	2.5	1.5	15	2.5	1.5	
	$40 < t \leq 60$	25	3.0	2.0	25	3.0	2.0	
	$60 < t \leq 100$	35	3.5	2.0	35	4.0	2.5	
	$100 < t \leq 200$	45	3.5	2.5	45	5.0	3.0	
	$t > 200$	45	3.5	2.5	45	5.0	3.0	
II	$6 \leq t \leq 8$	t	1.5	1.0	t	1.5	1.0	1) 若多个缺陷其各自高度 h 均为: $h_1 < h \leq h_2$ 或 $h_3$ , 则在任意 12t 范围 内累计长度不得超过 3t 且最大值为 200mm; 2) 对于单个或多个允许的表面缺陷, 其最大累计长度不得大于整条焊缝长 度的 10% 且最长不得超过 300mm。
	$8 < t \leq 15$	t	2.0	1.0	t	2.0	1.5	
	$15 < t \leq 40$	t	2.5	1.5	t	3.0	2.0	
	$40 < t \leq 60$	40	2.5	1.5	40	4.0	2.5	
	$60 < t \leq 100$	50	3.0	2.0	60	5.0	3.0	
	$100 < t \leq 200$	60	3.0	2.0	80	6.0	3.5	
	$t > 200$	80	3.5	2.5	100	6.0	3.5	
III	$6 \sim 300$	超过 II 级者						

注: 母材壁厚不同时, 取薄侧厚度值。

7.1.6 对接接头焊缝两侧厚度不同时缺陷评定按薄侧厚度评定级别; 插入式接管 (管座角焊缝) 缺陷评定按筒体 (或封头) 厚度评定级别, 安放式接管 (管座角焊缝) 缺陷评定按接管厚度评定级别; T型焊接接头按腹板厚度评定级别。

### 7.2 锅炉、压力容器管子和压力管道对接接头质量分级 (II型)

#### 7.2.1 公称厚度为3.2mm-6m的管子和管道对接接头的质量评定

7.2.1.1 根据对接接头存在的缺陷类型、缺陷波幅的大小以及缺陷的指示长度, 缺陷评定为合格 (I

级) 和不合格 (III级) 两类。

7.2.1.2 凡判定为裂纹、未熔合、根部未焊透及密集性缺陷显示, 评为III级。

7.2.1.3 凡在判废线 (含判废线) 以上的缺陷显示, 评为III级。

7.2.1.4 凡在评定线 (含评定线) 以上、判废线以下且指示长度大于5m的缺陷显示, 评为III级。

7.2.1.5 单个条形缺陷自身高度大于1/4壁厚的显示, 评为III级。

7.2.2 公称厚度大于或等于6m~50m的管子和管道对接接头的质量评定

7.2.2.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合、根部未焊透的缺陷显示, 评为III级。

7.2.2.2 凡在评定线以下的缺陷显示, 评为I级

7.2.2.3 对于评定线以上、判废线以下的缺陷显示评定:

a) 对于安装和在制的焊接接头应按照表19的规定进行评级;

b) 对于在用焊接接头按照表20的规定进行评级。

表19 锅炉、压力容器管子和压力管道对接接头质量分级方法一 单位: mm

等级	缺陷波幅所在区域	允许的单缺陷指示长度	缺陷的累计长度
I	I	$\leq 40$	——
	II	$\leq t/3$ , 最小可为8	长度小于或等于焊缝周长的10%, 且小于20
II	I	$\leq 60$	——
	II	$\leq 2t/3$ , 最小可为10	长度小于或等于焊缝周长的15%, 且小于30
III	I	超过II级者	
	II	超过II级者	
	III	所有条形缺陷	

注: 母材壁厚不同时, 取薄侧厚度值。

表20 锅炉、压力容器管子和压力管道对接接头质量分级方法二 单位: mm

质量等级	工件厚度	单个缺陷						多个缺陷
		表面缺陷			埋藏缺陷			
		长度 $l_{max}$	高度 $h_3$	若 $l > l_{max}$ 缺陷高度 $h_1$	长度 $l_{max}$	高度 $h_2$	若 $l > l_{max}$ 缺陷高度 $h_1$	
I	$3.2 \leq l \leq 8$	t	1.0	-	t	1.5	1.0	1) 若多个缺陷其各自高度h均为: $h_1 < h \leq h_2$ 或 $h_3$ , 则在任意12t范围内累计长度不得超过2t且最大值为50mm; 2) 对于单个或多个允许的表面缺陷, 其最大累计长度不得大于整条焊缝长度的5%且最长不得超过80mm。
	$8 < l \leq 15$	8	2.0	1.0	8	2.0	1.0	
	$15 < l \leq 40$	15	2.5	1.5	15	2.5	1.5	
	$40 < l \leq 50$	25	3.0	2.0	25	3.0	2.0	
II	$3.2 \leq l \leq 8$	t	1.5	1.0	t	1.5	1.0	1) 若多个缺陷其各自高度h均为: $h_1 < h \leq h_2$ 或 $h_3$ , 则在任意12t范围内累计长度不得超过3t且最大值为80mm; 2) 对于单个或多个允许的表面缺陷, 其最大累计长度不得大于整条焊缝长度的10%且最长不得超过100mm。
	$8 < l \leq 15$	t	2.0	1.0	t	2.0	1.5	
	$15 < l \leq 40$	t	2.5	1.5	t	3.0	2.0	
	$40 < l \leq 50$	40	2.5	1.5	40	4.0	2.5	
III	$3.2 \sim 50$	超过II级者						

注: 母材壁厚不同时, 取薄侧厚度值。

## 8 检测记录和报告

8.1 应按照现场操作的实际情况真实详细记录检测过程的有关信息和数据，至少应包括以下内容：

- a) 应画图记录焊接接头的详细情况，如焊缝宽度、坡口角度和形状、焊缝两侧壁厚、前端距、成像区域、检测标识、检测部位及无法检测的部位；同时记录检测工件的名称、类别、编号、材质、热处理状态、检测面平整情况等。
- b) 检测设备和器材：检测设备、探头、楔块、耦合剂、扫查装置、试块等名称、规格型号和编号。
- c) 检测技术要求和工艺参数：执行标准、检测技术等级、检测时机、检测比例、合格级别、基准灵敏度、灵敏度补偿、激发电压、脉冲宽度、扫描方式和扫查方式等。
- d) 手动扫查时现场应详细记录缺陷的定量、定位信息并保存缺陷图谱。
- e) 图谱的评定。
- f) 检测人员、图谱评定人员和复核人员签字。

8.2 应依据检测记录和图谱评定结果出具检测报告，至少应包括以下内容：

- a) 委托单位、检测记录编号、报告编号。
- b) 检测对象：承压设备类别，检测对象的名称、编号、规格尺寸、材质和热处理状态、检测部位和检测比例、检测时的表面状态、检测时机等。
- c) 检测技术要求：执行标准、合格级别和检测技术等级。
- d) 检测设备和器材：检测设备、探头、楔块、耦合剂、扫查装置、试块的名称和规格型号。
- e) 检测工艺参数：
- f) 检测部位示意图：检测部位以及所发现的缺陷位置和分布图。
- g) 缺陷部位图谱：3D显示、B型显示或D型显示等。
- h) 图谱评定结果和检测结论。
- i) 编制者、审核者和编制日期。



## 附录 A

(规范性附录)

### 3D全聚焦相控阵超声检测仪器和探头性能指标要求

#### A.1 3D全聚焦相控阵超声检测仪性能指标要求见表A.1

表A.1 3D全聚焦相控阵超声检测仪性能指标要求

序号	性能	测试条件	指标要求
1	稳定性要求	(1) 预热后的稳定性 仪器按出厂文件中规定的预热时间预热后（仪器屏幕显示范围 50mm，声速设定为 5900m/s），采用相控阵仪器一个有效的发射通道触发任意波形发生器产生一个 3 周期、中心频率 2MHz~6MHz、延迟 10 μs、峰值 100mV 的信号，将信号输入至仪器一个有效的接收通道，调节增益使屏幕上产生一个满屏高度 80% 的参考回波信号。每隔 10min 观察该回波信号的幅度和时基线上位置的变化，连续测量 3 次。	①参考回波信号幅值的变化 ≤ 满屏高度的 2% ②参考回波信号时基线位置的变化 ≤ 满屏宽度的 1%
		(2) 显示抖动 仪器按出厂文件中规定的预热时间预热后（仪器屏幕显示范围 50mm，声速设定为 5900m/s），采用任意波形发生器产生一个中心频率在 2MHz~6MHz 范围内的信号，连接仪器并使屏幕上产生一个参考回波信号（仪器增益设定在中间值），调节外部衰减器将参考信号幅度调至满屏高度的 80%。以每秒不少于 1 次的观察频率，测量该参考信号的幅度和时基线上位置的变化。	①参考信号幅值的变化 ≤ 满屏高度的 2% ②参考信号时基线位置的变化 ≤ 满屏宽度的 1%
		(3) 相对温度变化的稳定性 仪器按出厂文件中规定的预热时间预热后（仪器屏幕显示范围 50mm，声速设定为 5900m/s），采用任意波形发生器产生一个中心频率 2MHz~6MHz、延迟 10 μs、峰值 100mV 的信号，将信号输入至仪器一个有效的接收通道，调节增益使屏幕上产生一个满屏高度 80% 的参考回波信号。在仪器工作温度范围内，每隔 10℃ 变化观察该回波信号的幅度和时基线上位置的变化。	①参考回波信号幅值的变化 ≤ 满屏高度的 5% ②参考回波信号时基线位置的变化 ≤ 满屏宽度的 1%
		(4) 相对电压变化的稳定性 采用稳压电源给仪器供电，将稳压电源输出电压调到相控阵仪器正常工作电压的中间值，应用零延迟法则同时激发所有可用通道，采用中心频率 2MHz~6MHz 的相控阵探头在试块上产生底面回波作为参考信号，将参考信号幅度调至满屏高度的 80%（参考信号在仪器屏幕显示水平刻度 50%，且不小于 50mm）。在稳压电源输出电压降至仪器出厂文件中规定的低电压报警或低电压自动关机电压时，观察参考信号的幅度和时基线位置的变化。	①参考信号幅值的变化 ≤ 满屏高度的 2% ②参考信号时基线位置的变化 ≤ 满屏宽度的 1%
2	发射性能指标要求	(5) 发射脉冲重复频率 采用示波器测量相控阵仪器的发射脉冲重复频率（仅测试一个发射通道），包括最大值、最小值以及中间值，共 3 处。	①实测值与标称值之间的偏差 ≤ 标称值的 10% ②脉冲重复频率（最大值）应不小于 4KHz
		(6) 有效输出阻抗 在发射脉冲电压、发射脉冲宽度、发射脉冲重复频率（以上取中间值）以及仪器出厂文件中提供的最佳阻尼设定值条件下，测量相控阵仪器的有效输出阻抗，测试的通道不少于通道总数的 10%。	①有效输出阻抗 ≤ 50 Ω 时，偏差在 ±5 Ω 内； ②各通道实测值与标称值之间的偏差 ≤ 标称值的 20%
		(7) 发射延时精度 相控阵检测仪设置成多发多收，调整聚焦法则，按一定延时间隔顺序激发所有相控阵检测仪发射器，相邻通道之间发射延时间隔设置为系统能设定最小值，测试仪器发射延时精度（仅测试一个发射通道），测试所有可激发通道。	相邻通道间发射脉冲的最小延迟时间应 ≤ 5ns

序号	性能	测试条件	指标要求
2	发射性能指标要求	(8) 发射脉冲电压 在仪器出厂文件中提供的最佳阻尼设定值条件下, 调节发射脉冲宽度和发射脉冲重复频率为中间值, 测量相控阵仪器所有发射通道的最大、最小及中间值发射脉冲电压。	①发射脉冲模式可以是方波或尖脉冲; 发射脉冲电压幅度(带负载, 即 $V_{50}$ ) 最大值应 $\geq 75V$ ②实测值与标称值(带负载, 即 $V_{50}$ ) 之间的偏差 $\leq$ 标称值的 10%
		(9) 发射脉冲反冲 在发射脉冲电压、发射脉冲宽度(以上取中间值) 以及仪器出厂文件中提供的最佳发射脉冲重复频率和阻尼设定值条件下, 测量相控阵仪器所有发射通道的发射脉冲反冲与发射脉冲电压峰-峰值之比。	方波: 发射脉冲反冲实测值 $<$ 发射脉冲电压峰-峰值的 8%
		(10) 发射脉冲宽度 在发射脉冲电压(取中间值) 和仪器出厂文件中提供的最佳发射脉冲重复频率和阻尼设定值条件下, 测量相控阵仪器发射通道的最大、最小及中间值发射脉冲宽度。测试的通道不少于通道总数的 10%。	方波脉冲: 实测值与标称值之间的偏差 $\leq$ 标称值的 10%
		(11) 发射脉冲上升时间 在发射脉冲电压、发射脉冲宽度(以上取中间值) 和仪器出厂文件中提供的最佳发射脉冲重复频率和阻尼设定值条件下, 测量相控阵仪器发射通道的发射脉冲上升时间。测试的通道不少于通道总数的 10%。	方波: 发射脉冲上升时间的最大值 $\leq 15ns$
3	接收性能指标要求	(12) 串扰 采用任意波形发生器产生 5MHz 的连续正弦波, 测试相控阵仪器所有通道中任意两通道间的串扰。	串扰值 $> 40dB$
		(13) 发射脉冲后盲区 根据相控阵仪器的参数设置, 采用任意波形发生器产生 5MHz 或相控阵仪器频带的中心频率的连续正弦波, 测量相控阵仪器的发射脉冲后盲区, 仅测试仪器一个通道。	发射脉冲后盲区 $< 3.0 \mu s$
		(14) 接收器输入阻抗 采用任意波形发生器选择 5MHz 或相控阵仪器频带的中心频率, 设置相控阵仪器增益为中间值, 将超声仪器衰减器设置为最大和最小增益, 测量接收器输入阻抗的实数和虚数部分。测量相控阵仪器的通道不少于通道总数的 10%。	①仪器调至最大增益时, 输入阻抗的实数部 $R_{max}$ 应满足: $50 \Omega \leq R_{max} \leq 1K \Omega$ , 虚数部分应满足: $C_{max} \leq 150pF$ ① 对应的最大增益和最小增益时, 输入阻抗实数部分应满足: $ R_{max}-R_{min} /R_{max} \leq 0.1$ , 输入阻抗电容部分应满足: $ C_{max}-C_{min} /C_{max} \leq 0.15$ ③各通道的接收器输入阻抗的偏差 $\leq$ 最大值的 10%
		(15) 放大器频率响应 采用任意波形发生器依次选择相控阵仪器每个频带的设定值, 采用经过校准的外部衰减器, 测量相控阵仪器放大器频率响应, 仅测试一个发射通道。	①对于窄带, 每个频带的中心频率与标称值之间偏差 $\leq$ 标称值的 10% ②对于宽带, 每个频带带宽的上、下限实测值应包含标称值范围 ③接收部分频带范围按 -3dB 测量应包括: 1.0MHz-15MHz

序号	性能	测试条件	指标要求	
3	接收性能指标要求	(16) 动态范围	采用任意波形发生器依次选择相控阵仪器每个频带的设定值, 采用经过校准的外部衰减器, 测量相控阵仪器的动态范围, 仅测试一个发射通道。	可用的动态范围 > 70dB
		(17) 通道增益变化	采用任意波形发生器选择相控阵仪器频带的中心频率, 测量相控阵仪器各通道增益的变化。	各通道增益变化 < 2dB
		(18) 等效输入噪声	采用任意波形发生器选择相控阵仪器频带的中心频率, 使用经过校准的外部衰减器, 测量相控阵仪器的等效输入噪声, 测量相控阵仪器的通道不少于通道总数的 10%。	对每个频带的每平方根宽带噪声都应满足: $N_{in} < 80 \times 10^{-9}$ 伏每平方根赫兹
		(19) 接收延时精度	对应频带的中心频率、采用信号发生器产生一个与仪器频带中心频率相同的测试信号, 调节信号的幅度和仪器的时间延迟, 测量相控阵仪器接收延时精度, 仅测试仪器的一个通道。	接收最小延迟时间 ≤ 5ns
		(20) 衰减器精度	对应每个频带设定值, 将相控阵仪器可同时激发的每个通道的的衰减器与匹配的外部标准衰减器进行比较。	①在任意连续 20dB 范围内, 衰减器累积误差的 ≤ 1dB ②在任意连续 1dB 范围内, 衰减器累积误差 ≤ 0.5dB ③在任意连续 60dB 范围内, 衰减器累积误差 ≤ 2dB ④接收放大器的增益调节范围应 ≥ 80dB
		(21) 幅度线性	对应频带的中心频率, 采用经过校准的外部衰减器改变参考信号的幅度, 测量相控阵仪器屏幕上的信号高度的变化, 仅测试仪器的一个通道。	幅度线性的最大偏差 ≤ 2%
		(22) 时基线性	对应频带的中心频率, 采用经过校准的外部衰减器改变参考信号的幅度, 测量相控阵仪器的屏幕上的时基位置的变化, 仅测试仪器的一个通道。	时基线性的最大偏差 ≤ 1%
		(23) 净增益	采用任意信号发生器在相控阵仪器屏幕上产生一个参考信号, 使用经过校准的外部衰减器测量相控阵仪器的净增益, 仅测试仪器一个通道。	实测净增益 ≥ 60dB
(24) 声束合成	采用信号发生器产生 5MHz 的单周期正弦波信号, 并行输入 1~4 通道 (各通道延时 1 μs), 测试合成信号的幅度和位置变化, 仅测试仪器一组通道。	信号最大幅度变化 < 2 dB		

A. 2 3D全聚焦相控阵超声探头电气性能指标要求见表A. 2。

表A. 2 3D全聚焦相控阵超声探头电气性能指标要求

序号	性能	指标要求	
1	基本性能要求	基本要求	对于平面探头, 探头表面与平度刀口尺的间隙应不大于0.05mm
		中心频率	实测所有阵元实测的中心频率与标称频率的偏差 ≤ 标称频率的 ± 10%
		相对带宽	实测所有阵元实测的-6dB频带相对宽度 ≥ 标称值
		电阻抗或静电容	实测阻抗模或静电容与标称值的偏差 ≤ 标称值的 ± 20%
		持续脉冲时间	实测所有阵元实测的持续脉冲时间 ≤ 标称值的 ± 10%
2	其他性能要求	脉冲回波灵敏度	实测所有阵元脉冲回波灵敏度与标称值的偏差 ≤ ± 3dB
		阵元性能一致性	灵敏度一致性: 标准差 $S \leq 1dB$ ; 中心频率一致性: 变异系数 $C \times V \leq 3.3\%$ ; 相对带宽一致性: 变异系数 $C \times V \leq 5\%$
		阵元间串扰	相邻阵元间串扰值应 ≥ 25dB
注: 测试方法按照JB/T 11731			

## 附录 B

(资料性附录)

### 奥氏体不锈钢对接接头3D全聚焦相控阵检测方法和质量分级

#### B.1 范围

B.1.1 本附录规定了工件厚度10mm~150mm奥氏体不锈钢对接接头的3D全聚焦相控阵超声检测方法和质量分级。

B.1.2 工件厚度3.2mm~10mm奥氏体不锈钢对接接头可参照本标准第5章或第6章的规定执行,但应考虑材料声学特性的变化,使用横波检测信噪比无法满足要求时,应使用纵波斜探头或双晶线阵纵波斜探头(DLA)进行检测。

B.1.3 其他粗晶材料可参照本附录执行;

B.1.4 应考虑材料声学特性的变化,应有足够的信噪比方可按照或参照本附录检测。

#### B.2 检测人员

按本附录进行检测的人员,应接受一定时间的有关奥氏体不锈钢对接接头3D全聚焦相控阵超声检测方法的培训;对奥氏体钢等粗晶材料的特性、焊接特性、焊缝组织及声学特性、双晶线阵纵波声场特性有一定了解;对检测中可能出现的问题能做出正确的分析、判断和处理。

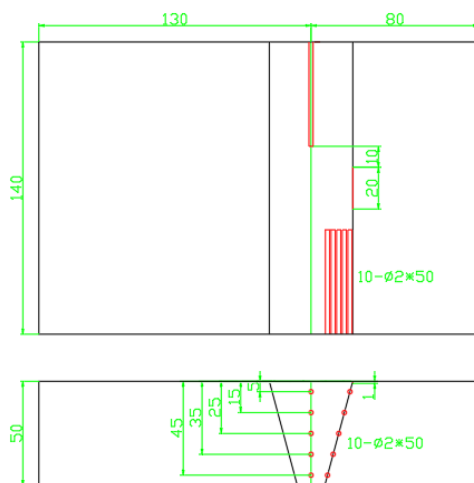
#### B.3 探头

一般采用纵波斜入射探头,探头标称频率应在1MHz~5MHz范围内;本附录推荐使用双晶纵波线阵斜探头(DLA)或双晶纵波面阵斜探头(DMA)。

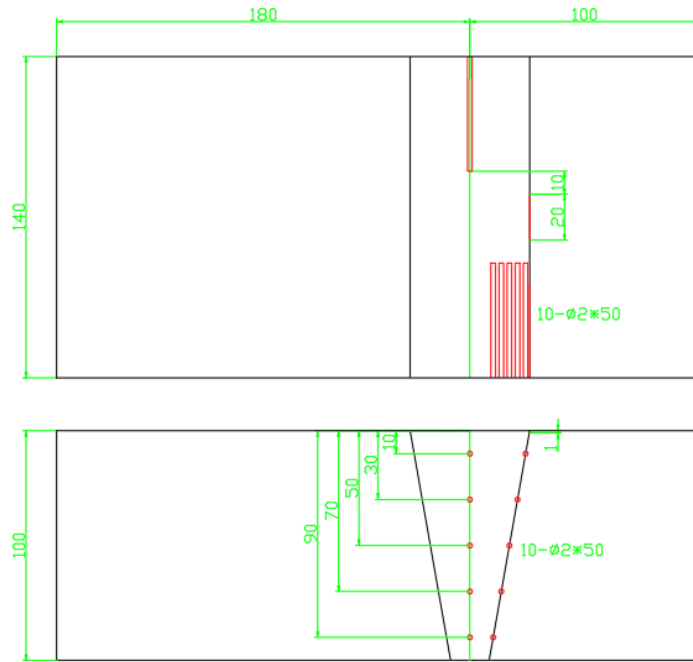
#### B.4 对比试块

B.4.1 本附录采用的对比试块为场校准校准试块和灵敏度试块(图B.1~图B.3),用于场校准和灵敏度的确定。

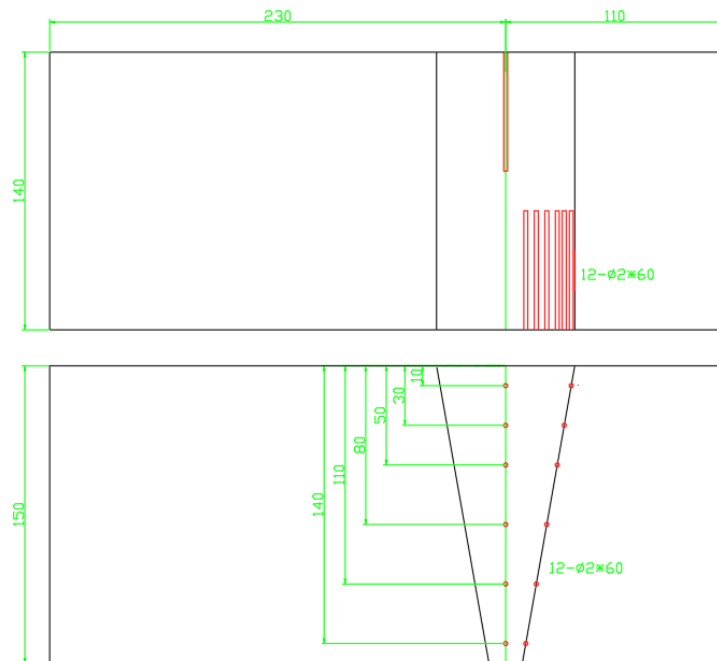
B.4.2 场校准试块应设置一条对接接头,该焊接接头的坡口形式应与被检焊接接头相似,并采用同样的焊接工艺制成,试块母材和焊缝的材质、声学性能应与被检工件相同或相近,建议使用现场工件制作试块。



图B.1 场校准-BX-I 试块



图B.2 场校准-BX-II试块



图B.3 场校准-BX-III试块

## B.5 场校准曲线的绘制和检测灵敏度确定

### B.5.1 场校准曲线的绘制

在检测界面加载场校准文件后，在成像区域内找到相应场校准试块一竖排横孔，调节增益使一竖排长横孔的影像颜色由绿变红（波高80%），此时的增益值为长横孔的基础值，在此基础上灵敏度补偿后按照表B.1根据工件厚度制作场校准曲线，该曲线族由评定线、定量线和判废线组成。评定线与定量线之间（包括评定线）为I区，定量线与判废线之间（包括定量线）为II区，判废线及其以上区域为III区，如图17所示。

表B.1 双晶线阵纵波斜入射检测场校准曲线灵敏度

工件厚度/mm	试 块	定量线	评定线	判废线
10~50	场校准-BX-I 试块	$\phi 2-8\text{dB}$	$\phi 2-2\text{dB}$	$\phi 2+3\text{dB}$
>50~100	场校准-BX-II 试块	$\phi 2-6\text{dB}$	$\phi 2$	$\phi 2+6\text{dB}$
>100~150	场校准-BX-III 试块	$\phi 2-4\text{dB}$	$\phi 2+2\text{dB}$	$\phi 2+8\text{dB}$

B.5.2 以定量线波高80%作为扫查灵敏度。

B.5.3 检测横向缺陷时，应将各线灵敏度均提高6dB。

### B.6 检测工件准备

检测工件准备按5.5的规定执行；另外检测原则上应在焊接接头的双面双侧使用一次波进行检测，受几何条件限制只能在焊接接头单面或单侧检测时，应将焊接接头余高磨平，尽可能检测到整个检测区域，修磨时不要采用角磨机进行修磨，应使用现场简易机械加工或对磨装置以确保检测面平整；当单面双侧检测表面盲区小于工件壁厚的1/10时，检测方案应经合同各方审批同意后方可实施检测。

### B.7 检测系统准备

#### B.7.1 3D双晶纵波斜入射探头和楔块的选择

B.7.1.1 与工件厚度有关的相控阵探头参数选择可参考表B.2，探头的型号和频率可根据奥氏体不锈钢晶粒粗大程度及信噪比适当调节。

表B.2 奥氏体不锈钢双晶纵波斜入射探头参数选择推荐表

工件厚度/mm	孔径长度/mm	标称频率/MHz
10~50	16~40	2.0~5.0
50~100	38~50	1.5~2.5
100~150	45~64	1.0~2.0

B.7.1.2 楔块纵波入射角度应使钢中折射角在 $45^\circ \sim 65^\circ$ 范围，焦点位置应为焊缝中心或对面熔合线上；检测面为曲面时，楔块的曲率应与工件的形状相吻合，楔块边缘与检测面的间隙应小于0.5mm。

### B.8 现场检测

B.8.1 检测区域和成像区域的确定、检测前的检查、检测方式、扫查速度、扫查覆盖、检测复核等严格按照第4章的规定执行，使用一次波（纵波）进行检测，上表面分辨力较差部位使用大角度纵波和爬波补充检测。

#### B.8.2 耦合剂

- a) 奥氏体不锈钢或钛材上使用的耦合剂卤素（氯和氟）的总含量不应大于250mg/L。
- b) 镍基合金上使用的耦合剂含硫量不应大于250mg/L。

#### B.8.3 图谱存储

纵向垂直扫查应连续存储原始格式的图谱，文件名应与检测位置编号相对应；手动锯齿形扫查发现缺陷应按5.2条要求记录图谱；对于无法检测的部位应做好记录。

### B.9 检测图谱的评价和显示分类

检测图谱的评价和显示分类按照5.8条的规定。

### B.10 缺陷定量

缺陷定量按照5.9条的规定。

### B.11 缺陷评定

缺陷评定按照5.10条的规定。

### B.12 质量分级

B.12.1 凡判定为裂纹、坡口未熔合、根部未焊透的缺陷显示，评为III级。

B.12.2 凡在判废线（含判废线）以上的缺陷显示，评为III级。

B.12.3 凡在评定线以下的缺陷显示，评为I级

B.12.4 焊接接头质量分级按表B3的规定

表B3 奥氏体不锈钢对接接头3D全聚焦相控阵检测质量分级

等级	工件厚度 t/mm	反射波幅所在区域	允许单个缺陷指示长度/mm
I 级	10~150	I	≤40
		II	$L \leq t/3$ ，最小可为 10
II 级	10~150	I	≤60
		II	$L \leq 2t/3$ ，最小可为 12，最大不超过 40
III 级	10~150	I	超过 II 级者
		II	超过 II 级者
		III	所有缺陷（任何指示长度）

# 《钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测》

## 团体标准编制说明

### 一、工作简况

#### (一) 任务来源

3D 全聚焦相控阵超声检测技术基于全矩阵数据采集 (FMC)、全聚焦成像 (TFM) 的超声检测技术, 同常规相控阵 PAUT 相比因其具有图像分辨率高、信噪比高、缺陷检出率高、有效声场覆盖范围大检测效率高、无栅瓣影响等特点, 在我国承压设备行业无损检测中开始使用, 并且有了越来越广泛的应用需求; 根据目前 3D 全聚焦相控阵超声检测仪器的声场特性和成像特点, 以及 NB/T 47013.15《承压设备无损检测 第 15 部分: 相控阵超声检测》对全聚焦检测的要求, 有必要对检测工艺进行了细化并规定具体要求, 为了使 3D 全聚焦相控阵超声检测更好的得到应用, 甘肃君立工程科技有限公司自选了题为《钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测》的团体标准, 并于 2021 年 6 月完成立项报告书, 2021 年 9 月经中国特种设备检验协会团体标准工作委员会组织专家审议通过, 由申请单位甘肃君立工程科技有限公司组织筹备标准的编写。

#### (二) 标准的起草单位及起草人

本标准负责起草单位: 甘肃君立工程科技有限公司

本标准参加起草单位: 浙江省特种设备科学研究院、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、甘肃省特种设备检验检测研究院、广东省特种设备检测研究院、河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院、福建省特种设备检验研究院、中国特种设备安全与节能促进会、江苏中特创业设备检测有限公司、甘肃省特种设备安全技术检查中心、北京市朝阳区特种设备检测所、北京市特种设备检测中心、北京市核建恒信检测技术有限公司、嘉兴市特种设备检验检测院、中国石化天津分公司装备研究院、北京市丰台区特种设备检测所、沈阳特种设备检测研究院、南京南化检验检测技术有限公司、广东珺相科技有限公司、浙江优尔特检测科技有有限公司。

本标准主要起草人: 汪同和、郭伟灿、谭云华、李沧、李绪丰、娄旭耀、张志超、杨志伟、强天鹏、张生文、程红伟、李宏雷、严宇、陈伟、王强、陈玉平、孙大超、徐海超、陈兴发、柳章龙。

#### (三) 主要工作过程

##### 1、项目筹备

受到疫情的影响, 直到 2022 年 09 月 16 日, 甘肃君立工程科技有限公司在中国特种设备检验协会秘书处和中国特检协会检测评价工委指导下开始筹备起草组, 编制了《钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测》的团体标准制定工作方案, 明确了团标编制工作计划, 向国内相控阵开展较好的特检院、知名企业、检测机构发出编制邀请, 最终 19 家单位企业接受邀请参加团体标准的编制工作, 于 2022 年 12 月 19 日确定参与编制单位及人员, 项目筹备完成, 正式启动。

##### 2、项目起草组成立及第一次会议

标准起草及参与编制单位于 2023 年 02 月 20 日以视频会议的方式召开本标准起草组成立暨第



一次工作会议，正式启动标准编写工作。会议就起草组的组建及标准制定的相关问题进行了协商与研究，对标准草案框架进行了认真谈论，通过了《钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测》的团体标准制定工作方案。

(1) 会议确定，本标准负责起草单位为甘肃君立工程科技有限公司；本标准参加起草单位有浙江省特种设备科学研究院、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、甘肃省特种设备检验检测研究院、广东省特种设备检测研究院、河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院、福建省特种设备检验研究院、中国特种设备安全与节能促进会、江苏中特创业设备检测有限公司、甘肃省特种设备安全技术检查中心、北京市朝阳区特种设备检测所、北京市特种设备检测中心、北京市核建恒信检测技术有限公司、嘉兴市特种设备检验检测院、中国石化天津分公司装备研究院、北京市丰台区特种设备检测所、沈阳特种设备检测研究院、南京南化检验检测技术有限公司、广东珺相科技有限公司、浙江优尔特检测科技有有限公司。

(2) 会议确定，本标准负责起草人员为：汪同和、郭伟灿、谭云华、李沧、李绪丰、娄旭耀、张志超、杨志伟、强天鹏、张生文、程红伟、李宏雷、严宇、陈伟、王强、陈玉平、孙大超、徐海超、陈兴发、柳章龙。

(3) 会议对《钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测》的团体标准的题目、框架、内容进行了认真讨论，通过了《钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测》的团体标准制定工作方案。

(4) 会议确定，本标准的框架为：1、范围；2、规范性引用文件；3、术语和定义；4、一般要求；5、承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测方法（I 型）；6、承压设备管子和压力管道环向对接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测（II 型）；7、承压设备 3D 全聚焦相控阵超声检测质量分级；8、检测记录和报告；附录 A（规范性附录）3D 全聚焦相控阵超声检测仪器和探头性能指标要求；附录 B（资料性附录）奥氏体不锈钢对接接头 3D 全聚焦相控阵检测方法和质量分级。

(5) 会议确定，本标准的范围是：本标准规定了承压设备焊接接头采用 3D 全聚焦相控阵超声检测的方法和质量分级要求；本标准适用于在制和在用承压设备 3.2mm~300mm 碳钢、低合金钢材料全熔化焊焊接接头，10mm~150mm 奥氏体不锈钢等粗晶材料承压设备对接接头。

(6) 会议确定了编制计划，明确了各部分内容的编制单位、完成时间。确定了团标编制工作各环节的时间节点。

(7) 会议确定：由甘肃君立工程科技有限公司汪同和同志作为执笔人，对各单位编写内容进行汇总，编写标准初稿。

(8) 会议确定：标准初稿编写完成后通过网络征求起草组意见，经汇总修改后召开第二次工作会议进行讨论。

### 3、项目起草组第二次工作会议

标准起草组于 2023 年 06 月 05 日以视频会议的方式举行了第二次工作会议，对团体标准初稿的内容进行了讨论和研究。由标准执笔人汪同和介绍了标准初稿的起草情况及征求起草组成员意见

后的修订情况，并进行了讨论。

(1) 会议对标准草案的内容和格式进行了全面的梳理。

(2) 会议确定，团标中部分内容需进行修订，并明确了修订部分的具体分工。

(3) 会议确定，团标修订完成后，再次举行工作会议，对修订部分的内容进行讨论。

#### 4、项目起草组第三次工作会议

标准起草组于 2023 年 07 月 28 日以视频会议的方式举行了第三次工作会议，本次会议就第二次会议提出的修订部分进行了讨论和研究，由标准执笔人汪同和介绍了第二次会议提出的修订部分的修订情况，并对修订内容进行了逐条讨论。

通过讨论，会议确定：团标编制内容已初步符合要求，已完成编制目标，可作为征求意见稿进行上报。

## 二、标准编制原则和标准主要内容

### (一) 标准编制原则

本标准按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》进行编写，力求依据科学、定义准确、表述明确、适宜操作。并遵循以下原则：

#### 1. 专业性原则

本标准中明确了钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测的一般要求，对检测人员、设备器材、检测工艺文件、检测实施工艺等提出具体要求，对钢制承压设备各种焊接接头的检测方法作出详细规定，标准更具有专业性。

#### 2. 适用性原则

本标准制定中充分考虑了 3D 全聚焦相控阵超声检测仪器的声场特性和成像特点，根据 NB/T 47013.15《承压设备无损检测 第 15 部分：相控阵超声检测》对全聚焦检测的要求，对检测工艺进行了细化并规定具体要求，在满足专业性的基础上，更具有适用性。

#### 3. 规范性原则

本标准对钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测方法、质量分级、检测记录和报告均做出了规范化要求，使检测质量控制更具有规范性。

### (二) 本标准主要内容

#### 1、范围

本章规定了本标准的使用范围。

#### 2、规范性引用文件

本章规定了本标准需要引用的、必不可少的文件。

#### 3、术语和定义

本章参考相关标准、规范及行业惯例，对适用于本标准表述的“3D 全聚焦相控阵超声检测”、“全矩阵采集”、“全聚焦”、“场校准”等做了名词定义。

#### 4、一般要求

本章规定 3D 全聚焦相控阵超声检测的检测人员、设备器材（仪器、探头、组合性能、楔块、扫查装置、试块、耦合剂、校准核查、运行核查、检查）、检测工艺文件、检测实施工艺（检测准备、检测方式、扫查方式、检测区域的确定、成像像素尺寸、图像显示、成像区域和位置的设定、探头的选择、扫查速度、扫查覆盖、灵敏度补偿、场校准、温度、检测系统的复核、安全）的要求等内容。

#### 5、承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测方法（I 型）

本章规定了 I 型焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测的具体方法和要求。

#### 6、承压设备管子和压力管道环向对接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测（II 型）

本章规定了 II 型焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测的具体方法和要求。

#### 7、承压设备 3D 全聚焦相控阵超声检测质量分级

本章规定了 I 型和 II 型焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测的质量分级方法和要求。

#### 8、检测记录和报告

本章对检测记录和报告提出具体要求。

#### 附录 A（规范性附录）3D 全聚焦相控阵超声检测仪器和探头性能指标要求

本附录对仪器、探头的性能和指标提出具体要求。

#### 附录 B（资料性附录）奥氏体不锈钢对接接头 3D 全聚焦相控阵检测方法和质量分级

本附录规定了奥氏体不锈钢等粗晶材料对接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测的具体方法和要求。

### 三、主要试验或验证的分析、综述报告，技术论证及预期的效果

#### （一）验证分析

《钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测》团体标准编制过程中，起草组与 3D 全聚焦相控阵的生产厂家不断沟通，改善仪器工艺性能，使之符合检测工艺要求；并依据仪器系统分辨率高、信噪比高、缺陷检出率高、有效声场覆盖范围大、检测效率高、无栅瓣影响等特点，对压力容器、压力管道不同厚度、不同坡口形式的对接接头、T 型接头、接管角接头进行试验验证，达到了标准要求，团体标准能对钢制承压设备焊接接头的质量控制起到有效作用。

#### （二）预期效果论证

3D 全聚焦相控阵超声检测同常规相控阵 PAUT 相比因其具有图像分辨率高、信噪比高、缺陷检出率高、有效声场覆盖范围大检测效率高、无栅瓣影响等特点，根据上述特点编制该团体标准，达到预期效果，是承压设备焊缝检测行之有效的检测方法。

《钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测》团体标准实施后，对质量指标及测量方法和合格标准进行明确的规定，对检测质量起到保证作用，对特种设备的安全运行将会起到积极地作用。

### 四、涉及知识产权情况

本标准不涉及知识产权问题。

### 五、采用国际标准、国外先进标准的程度，以及与国际标准和国外同类标准水平的对比情况，

国内外关键指标对比分析与测试的国外样品、样机的相关数据对比情况

(一) 采用国际标准、国外先进标准情况

本标准没有采用国外相关标准的情况。

(二) 本标准查阅参照采用的相关国家标准、行业标准

本标准制定时参考了以下依据：

GB/T 12604.1 《无损检测 术语 超声检测》

GB/T 29302 《无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验》

JB/T 8428 《无损检测 超声试块通用规范》

JB/T 11731 《无损检测 超声相控阵探头通用技术条件》

JB/T 11779 《无损检测仪器 相控阵超声检测仪技术条件》

JJF 1338 《相控阵超声探伤仪校准规范》

NB/T 47013.1 《承压设备无损检测 第1部分：通用要求》

NB/T 47013.3 《承压设备无损检测 第3部分：超声检测》

NB/T 47013.15 《承压设备无损检测 第15部分：相控阵超声检测》

六、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本团体标准符合现行法律、法规和强制性标准的要求。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准制定过程中没有出现重大分歧意见。

八、贯彻标准的要求和措施建议

(一)、建议将本标准作为推荐性标准。

(二)、本标准发布后，将在中国特种设备检验协会秘书处和中国特检协会检测评价工委组织协调下，标准编写项目组成员积极配合，成立宣贯小组。由宣贯小组编撰宣贯材料，争取标准发布后尽快在钢制承压设备焊接接头 3D 全聚焦相控阵超声检测工作中得到实施。

九、废止现行有关标准的建议

不存在可废止的现行有关标准。

十、其他应予说明的事项

无。

团体标准起草组

2023 年 08 月 08 日